

TUGAS AKHIR - TM141585

**STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK ALIRAN
MELALUI *SQUARE DUCT* DAN *SQUARE ELBOW 90°*
DENGAN *INLET DISTURBANCE BODY* BERBENTUK
SILINDER SINGKULAR YANG DIVARIASIKAN PADA SISI
*INNER ELBOW 90°***

Muh. Septa Hendriyanto
NRP 2115 105 028

Dosen Pembimbing
Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT.

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**



TUGAS AKHIR – TM141585

**STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK ALIRAN
MELALUI *SQUARE DUCT* DAN *SQUARE ELBOW 90°*
DENGAN *INLET DISTURBANCE BODY* BERBENTUK
SILINDER SIRKULER YANG DIVARIASIKAN PADA
SISI *INNER ELBOW 90°***

MUH. SEPTA HENDRIYARTO
NRP. 2115 105 028

Dosen Pembimbing:
Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT.

PROGRAM SARJANA
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



FINAL PROJECT – TM141585

**EXPERIMENT STUDY OF FLOW CHARACTERISTIC
THROUGH SQUARE DUCT AND SQUARE ELBOW 90°
USING INLET DISTURBANCE BODY IN CIRCULAR
CYLINDER BY VARIED ON INNER ELBOW 90°**

MUH. SEPTA HENDRIYARTO
NRP. 2115 105 028

Advisory Lecturer
Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT.

BACHELOR PROGRAM
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

**STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK ALIRAN
MELALUI SQUARE DUCT DAN SQUARE ELBOW 90°
DENGAN INLET DISTURBANCE BODY
BERBENTUK SILINDER SIRKULER YANG
DIVARIASIKAN PADA SISI INNER ELBOW 90°**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MUH.SEPTA HENDRIYARTO

NRP. 2115 105 028

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT. (Pembimbing)
NIP. 197104051997021002
2. Prof. Ir. Sutardi, M.Eng., Ph.D (Penguji I)
NIP. 196412281990031002
3. Dedy Zulhidayat Noor, ST., MT., Ph.D. (Penguji II)
NIP. 197512062005011002

SURABAYA

JULY, 2017

Studi Eksperimen Karakteristik Aliran Melalui *Square Duct* dan *Square Elbow 90°* dengan *Inlet Disturbance Body* Berbentuk Silinder Sirkuler yang divariasikan pada Sisi *Inner Elbow 90°*

Nama Mahasiswa : Muh. Septa Hendriarto
NRP : 2115 105028
Departemen : Teknik Mesin FTI – ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT.

ABSTRAK

Sebuah penelitian yang dilakukan oleh *Shiming Deng & John Burnett* pada tahun 2002 tentang rata-rata konsumsi energi 16 hotel di Hongkong. Dari penelitian tersebut, didapatkan bahwa konsumsi energi pada gedung-gedung ini antara lain 45% untuk sistem tata udara, 31% untuk *non-electrical*, 17% untuk sistem tata cahaya, dan 7% untuk sistem transportasi gedung (*lift* atau *escalator*). Data di atas menunjukkan bahwa energi yang menyumbang cukup besar adalah sistem saluran udara. Salah satu upaya untuk mengurangi konsumsi daya tersebut adalah memperbaiki instalasi saluran udara itu sendiri dengan menambahkan *fitting* perpipaan berupa *elbow 90°* dan penambahan *Inlet Disturbance Body* (IDB).

Penelitian ini dilakukan secara eksperimen dengan model saluran berpenampang bujursangkar (*square duct*) dengan $D_h = 125 \text{ mm}$ yang terdiri dari : *upstream duct (straight duct)* dengan panjang $7D_h$, *Inlet Disturbance Body* berbentuk *circular cylinder* dengan $D = 12,5 \text{ mm}$, *square elbow 90°*, dan dilengkapi *downstream duct (straight duct)* dengan panjang $15D_h$, serta *induced draft fan*. Pengukuran dalam penelitian ini menggunakan *pitot static tube*, *inclined manometer*, dan *pressure transducer*. Pengujian dilakukan dengan tanpa IDB dan variasi peletakan *inlet disturbance body* $5^\circ, 10^\circ, 15^\circ$, dan 20° pada sisi *inner elbow 90°* dengan Re_{Dh} sebesar $4,7 \times 10^4$ untuk mendapatkan profil kecepatan sepanjang *downstream duct*, untuk mendapatkan nilai *pressure*

drop dan *coefficient loss elbow 90°* digunakan Re_{Dh} $1,4 \times 10^4$ sampai $10,3 \times 10^4$ (kecepatan udara 2 m/s sampai 12 m/s dengan kenaikan kecepatan 1 m/s), sedangkan untuk *coefficient pressure* pada *elbow 90°* digunakan kecepatan 4 m/s, 8 m/s, dan 12 m/s dengan Re_{Dh} $3,1 \times 10^4$; $6,3 \times 10^4$; dan $9,5 \times 10^4$.

Hasil studi eksperimen ini diperoleh bahwa penempatan *inlet disturbance body* pada saluran dengan variasi peletakan 15° merupakan jarak paling efektif untuk menurunkan *pressure drop* sedangkan *inlet disturbance body* dengan jarak 5° maupun *inlet disturbance body* dengan jarak yang lain kurang effective untuk menurunkan *pressure drop* dan hanya effective pada Reynolds Number rendah saja jika dibandingkan dengan variasi tanpa IDB. Secara fungsi Reynolds Number, jarak tanpa *inlet disturbance body* memiliki nilai *koefisien losses elbow 90°* paling rendah, sedangkan pada variasi *inlet disturbance body 10°* memiliki nilai *koefisien losses elbow 90°* paling tinggi. Perbedaan nilai *Pressure Coefficient (ΔC_p)* yang cukup signifikan pada *elbow 90°* dengan saluran tanpa *inlet disturbance body* dan menggunakan *inlet disturbance body*, dimana didapatkan bahwa ΔC_p pada jarak *inlet disturbance body 15°* terlihat lebih kecil dibandingkan pada jarak 10° maupun tanpa menggunakan *inlet disturbance body*. Selanjutnya, distribusi profil kecepatan mulai terlihat beragam ketika melewati *outlet elbow 90°*, dimana terjadi perbedaan signifikan antara kecepatan sisi *inner* dan *outer* baik dari sisi *vertical* atau sisi *horizontal*. Proses *recovery* aliran mulai terlihat setelah melewati $z/D_h=6$ karena efek dari *backflow* dan *blockage* mulai menghilang. Untuk intensitas turbulensi, distribusi Intensitas Turbulensi (IT) saat mendekati sisi *inner* lebih tepatnya pada posisi $z/D_h = 0,024$ terjadi peningkatan IT secara signifikan sedangkan untuk sisi *outer* terlihat sama. Variasi tanpa IDB memiliki distribusi IT yang paling rendah dibandingkan dengan variasi yang lainnya. Sedangkan nilai IT yang tertinggi ditunjukkan pada variasi peletakan IDB 20° .

Kata kunci: *Inlet Disturbance Body, Pressure Drop, Square Duct*

Experiment Study of Flow Characteristic Through Square Duct and Square Elbow 90° using Inlet Disturbance Body in Circular Cylinder by Varied on Inner Elbow 90°

Name of Student : Muh. Septa Hendriarto
NRP : 2115 105 028
Department : *Mechanical Engineering FTI-ITS*
Lecturer : Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT.

Abstract

A study conducted by Shiming Deng & John Burnett in 2002 about the average energy consumption of 16 hotels in Hong Kong. From the research, It's found that energy consumption in these buildings is 45% for air system, 31% for non-electrical, 17% for lighting system and 7% for building transportation system (elevator or escalator). The data above shows that contributes the greatest energy is the airway system. One of the effort to reduce the power consumption is to improve the airway installation itself by adding 90 ° elbow piping fittings and the addition of Inlet Disturbance Body (IDB).

This research is carried out by experiments with models of rectilinear shaped channel square duct with D_h : 125 mm consist of upstream duct (straight duct) with 7 D_h , circular cylinder shape of inlet disturbance body with $D = 12,5$ mm., square elbow 90°, and downstream duct in 15 D_h as well as induced draft fan. The measurement for this experiment using pitot static cube, inclined manometer, and pressure transducer. The experiment conducted with the variation of inlet disturbance of body 5 °, 10 °, 15 ° and 20 ° at the inner side of the elbow 90° with $Re_{Dh} 4,7 \times 10^4$ to get the velocity (vertical and horizontal) along downstream duct. Pressure drop and coefficient loss elbow 90° using $Re_{Dh} 1,4 \times 10^4$ up to $10,3 \times 10^4$ (air velocity was 2 m/s up to 12 m/s while increasing at 1 m/s). Furthermore, coefficient pressure in elbow 90° was

measured in 4 m/s , 8 m/s, 12 m/s of velocity then using Re_{Dh} 3.1×10^4 ; $6,3 \times 10^4$ and $9,5 \times 10^4$.

The result of this experiment based on the distance of inlet disturbance body had effective in distance 15° to decreased pressure drop and then distance inlet disturbance body 5° as well as other layed had not effective to decreased pressure drop but also effected on low Reynolds Number compared by without IDB. Moreover, based on reynold number, the function of this experiment without inlet disturbance body had lowest coefficient losses elbow. Nonetheless, variation of inlet disturbance body 10° had highest coefficient losses elbow. The differences was significant in pressure coefficient elbow 90° using duct without inlet disturbance body and using inlet disturbance body. Pressure coefficient was in distance 15° of inlet disturbance body has lower value than distance 10° or without inlet disturbance body. Then, distribution of velocity profile was various when pass through outlet elbow 90° where the differences of velocity in inner side and outer (vertical or horizontal) was significant. Flow recovery was visible after passed $z/Dh=6$ because effect of backflow and blockage was disappeared. Measurement result of intensity turbulence (IT) based on distribution IT when approached inner side in $z/Dh=0.024$ had IT significant enhancement but the outer side had same result. Variation without IDB had lowest IT distribution than the other variations. The highest IT value was showed in IDB 20.

Key word : Inlet Disturbance Body, Pressure Drop, Square Duct

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	6

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Saluran Udara	7
2.2 Klasifikasi Aliran Fluida	8
2.2.1 Aliran <i>Viscous</i> dan <i>Inviscid</i>	9
2.2.2 Aliran Laminar dan Turbulen.....	10
2.2.3 Aliran <i>Incompressible</i>	11
2.3 Persamaan Euler Dalam Koordinator <i>Streamline</i>	11
2.4 <i>Reynolds Number</i>	13
2.5 Tekanan Statis, Tekanan Stagnasi, dan Tekanan Dinamis	13
2.6 Karakteristik Aliran di dalam Saluran Udara	15
2.6.1 Aliran Berkembang Penuh	15
2.6.2 Aliran Sekunder (<i>secondary flow</i>) yang terjadi pada <i>Elbow 90°</i>	16
2.6.3 Proses Terjadinya Separasi Aliran Pada <i>Elbow 90°</i>	17
2.7 <i>Head Loss</i>	18
2.7.1 <i>Head Loss Mayor</i>	19

2.7.2 <i>Head Loss Minor</i>	20
2.8 <i>Pressure Coefficient</i>	20
2.9 Intensitas Turbulensi	21
2.10 Penelitian Terdahulu	22

BAB III METODOLOGI

3.1 Skema Penelitian	35
3.2 Peralatan Pendukung	36
3.2.1 <i>Square Duct</i>	36
3.2.2 <i>Centrifugal Fan</i>	38
3.2.3 <i>Honey Comb, Screen, dan Nozzle</i>	39
3.2.4 <i>Inlet Disturbance Body</i>	39
3.2.5 Alat Ukur.....	40
3.2.5.1 Pitot Tube	40
3.2.5.2 Wall Pressure Tap.....	40
3.2.5.3 Transducer Tekanan dan Data Aquisisi.....	42
3.2.5.4 <i>Inclined manometer (Manometer V)</i> dan Mistar.....	43
3.3 Langkah – Langkah Validasi	43
3.3.1 Validasi Tekanan Dinamis	44
3.3.2 Validasi Tekanan Statis.....	45
3.4 Analisis Dimensi Parameter – Parameter	47
3.4.1 Analisis Grup Tak Berdimensi untuk <i>Pressure Drop</i> pada <i>Square Duct</i>	47
3.4.2 Analisis Grup Tak Berdimensi untuk Kecepatan pada <i>Square Duct</i>	49
3.5 Prosedur Pengambilan Data.....	51
3.5.1 Pengambilan Data Kuantitatif	51
3.5.2 Pengolahan Data Kuantitatif.....	52
3.6 <i>Flowchart</i> Langkah Penelitian.....	57
3.7 Gambar Peralatan Penelitian.....	58

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1	<i>Pressure drop pada Square Duct dan Square Elbow 90° fungsi Reynolds Number dengan Variasi Tanpa Inlet Disturbance Body dan Inlet Disturbance Body 5°-20° di sisi inner Elbow 90°</i>	61
4.2	<i>Koefisien Losses Elbow 90° pada Square Duct dan Square Elbow 90° Fungsi Reynolds Number dan Variasi Tanpa Inlet Disturbance Body dan Inlet Disturbance Body 5°-20° di sisi inner Elbow 90°</i>	66
4.3	<i>Coefficient of Pressure pada Square Elbow 90° Fungsi Reynolds Number dan Variasi Tanpa Inlet Disturbance Body dan Inlet Disturbance Body 5°-20° di sisi inner Elbow 90° dengan $Re_{Dh}=3,2 \times 10^4$</i>	68
4.4	<i>Profil Kecepatan Bidang Horizontal dan Vertikal pada Sisi Upstream Straight Duct dan Downstream Straight Duct dengan $Re_{Dh}=4,7 \times 10^4$</i>	71
4.4.1	<i>Distribusi Profil Kecepatan Bidang Horizontal dengan Variasi Tanpa Inlet Disturbance Body dan Peletakan Inlet Disturbance Body Body 5°-20° di sisi inner Elbow 90° pada $Re_{Dh}=4,7 \times 10^4$</i>	72
4.4.2	<i>Distribusi Profil Kecepatan Bidang Vertikal dengan Variasi Tanpa Inlet Disturbance Body dan Peletakan Inlet Disturbance Body Body 5°-20° di sisi inner Elbow 90° pada $Re_{Dh}=4,7 \times 10^4$</i>	75
4.5	<i>Perbandingan Intensitas Turbulensi Bidang Horizontal dengan Variasi tanpa Inlet Disturbance Body dan Peletakan Inlet Disturbance Body Body 5°-20° di sisi inner Elbow 90° pada $Re_{Dh}=4,7 \times 10^4$</i>	78
4.6	<i>Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu</i>	81
4.6.1	<i>Perbandingan Velocity Profile dengan penelitian Rup & Sarna (2011)</i>	82

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan..... 85

5.2 Saran..... 86

DAFTAR PUSTAKA 87

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Macam – macam bentuk <i>ducting</i> (a) <i>Circular Tube</i> (b) <i>Square Duct</i> (c) <i>Rectangular Duct</i> (Cengel dan Cimbala, 2006).....	7
Gambar 2.2	Klasifikasi fluida berdasarkan jenis alirannya.....	8
Gambar 2.3	Ilustrasi aliran <i>inviscid</i> dan <i>viscous</i> (Fox dan Mc. Donald, 2011).....	9
Gambar 2.4	Aliran Laminar (Munson et al, 2002).....	10
Gambar 2.5	Aliran Transisi (Munson et al, 2002)	10
Gambar 2.6	Aliran Turbulen (Munson et al, 2002)	11
Gambar 2.7	Gerakan partikel fluida di sepanjang <i>streamline</i> (Fox dan Mc. Donald, 2011)	12
Gambar 2.8	Pengukuran Tekanan Stagnasi dan Tekanan Statis (Fox dan Mc. Donald, 2011).....	14
Gambar 2.9	Profil Aliran <i>Internal flow</i> pada pipa (Cengel dan Cimbala, 2006).....	15
Gambar 2.10	Aliran yang ideal di sepanjang lengkungan saluran (Miller, 1990)	16
Gambar 2.11	Aliran sekunder yang terbentuk akibat adanya lengkungan (Miller, 1990).....	17
Gambar 2.12	Separasi aliran pada <i>inner wall elbow 90°</i> (Miller, 1990)	17
Gambar 2.13	a) Posisi pengambilan data pada <i>domain</i> uji b) Mes7 pada <i>Volume</i> (Rup dan Sarna , 2011).....	22
Gambar 2.14	Perbandingan profil kecepatan didapat dari simulasi dan eksperimen untuk $x/Dh = 1.0$ dan $z/Dh = 0.0$ (Rup dan Sarna , 2011).....	23
Gambar 2.15	Perbandingan koefisien tekanan pada kedua sisi <i>inner</i> dan <i>outer wall elbow</i> hasil simulasi dan eksperimen. (Rup dan Sarna , 2011)	24
Gambar 2.16	Geometri pipa melengkung dan permodelan komputasinya (Dutta dan Nandi, 2015)	25

Gambar 2.17	<i>Velocity profile</i> pada sudut 0° , 30° , 60° , dan 90° dengan variasi <i>curvature ratio</i> ($R_c/D = 1 - 5$) (Dutta dan Nandi, 2015)	25
Gambar 2.18	(a) Skema posisi peletakkan silinder sirkular pada <i>wind tunnel</i> dan (b) posisi dari bodi pengganggu (Wawan dan Nuzul, 2014).....	26
Gambar 2.19	<i>Pressure drop</i> yang terjadi dengan dan tanpa silinder sirkular (Wawan dan Nuzul, 2014)	27
Gambar 2.20	Skema Instalasi Penelitian (Hardian, 2017)	28
Gambar 2.21	<i>Pressure drop</i> pada <i>square duct</i> dengan <i>square elbow</i> 90° dengan variasi <i>Reynolds Number</i> $3,97 \times 10^4 < Re_{Dh} < 13,5 \times 10^4$ dan variasi jarak <i>inlet disturbance body</i> $0,1D_h - 0,5D_h$ (Hardian, 2017)....	28
Gambar 2.22	Koefisien <i>Losses Elbow</i> 90° pada <i>Square Duct</i> dengan <i>Square Elbow</i> 90° dengan variasi <i>Reynolds Number</i> $3,97 \times 10^4 < Re_{Dh} < 13,5 \times 10^4$ dan variasi jarak <i>inlet disturbance body</i> $0,1D_h - 0,5D_h$ (Hardian, 2017).....	29
Gambar 2.23	Sketsa <i>test section</i> (pandangan atas) (Rizkia P., 2017).....	30
Gambar 2.24	<i>Pressure drop square duct</i> dengan variasi peletakkan <i>inlet disturbance body</i> dan Re_{Dh} $3,97 \times 10^4$ sampai $1,35 \times 10^5$ (Rizkia P., 2017)	31
Gambar 2.25	<i>Loss coefficient elbow</i> 90° dengan variasi peletakkan <i>inlet disturbance body</i> dan Re_{Dh} $3,97 \times 10^4$, $8,74 \times 10^4$, dan $1,35 \times 10^5$ (Rizkia P., 2017).....	32
Gambar 3.1	Skema instalasi penelitian dan gambar detail dari peletakan <i>Inlet Disturbance Body</i>	36
Gambar 3.2	Model uji penelitian.....	37
Gambar 3.3	<i>Centrifugal Fan</i>	38
Gambar 3.4	<i>Honey Comb, Screen, Nozzle</i>	39

Gambar 3.5	Lokasi pemasangan <i>Inlet Disturbance Body</i> serta konfigurasi parameter yang mempengaruhi karakteristik aliran sepanjang <i>downstream straight duct</i>40
Gambar 3.6	Skema pemasangan <i>wall pressure tap</i>41
Gambar 3.7	Lokasi perhitungan untuk profil kecepatan42
Gambar 3.8	<i>Inclined Manometer</i>43
Gambar 3.9	Skema validasi tekanan dinamis <i>pressure transducer 1" WC</i>44
Gambar 3.10	Contoh hasil validasi tekanan dinamis <i>pressure transducer 1" WC</i>45
Gambar 3.11	Skema validasi tekanan statis <i>pressure transducer 3" WC</i>46
Gambar 3.12	Contoh hasil validasi tekanan statis <i>pressure transducer 3" WC</i>46
Gambar 3.13	Flowchart Percobaan.....56
Gambar 4.1	<i>Pressure drop</i> pada <i>square duct</i> dan <i>square elbow 90°</i> dengan variasi <i>Reynolds Number</i> $1,4 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10,3 \times 10^4$ dengan variasi tanpa <i>Inlet Disturbance Body</i> dan <i>Inlet Disturbance Body 5°-20°</i> di sisi <i>inner Elbow 90°</i>62
Gambar 4.2	Perbandingan <i>pressure drop</i> dilihat secara mikro pada a). Pada sisi <i>upstream duct</i> b). Pada sisi <i>elbow 90°</i> c). Pada sisi <i>downstream duct</i> dengan variasi <i>Reynolds Numbers</i> $1,4 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10,3 \times 10^4$ dan variasi tanpa IDB, peletakan IDB 5°-20° di sisi <i>inner elbow 90°</i>65
Gambar 4.3	<i>Coeffisien Losses Elbow 90°</i> pada <i>Square Duct</i> dan <i>Square Elbow 90°</i> dengan variasi <i>Reynolds Number</i> $1,4 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10,3 \times 10^4$ dan dengan variasi tanpa <i>inlet disturbance body</i> dan jarak peletakan <i>inlet disturbance body 5°-20°</i> pada sisi <i>inner elbow 90°</i>67

Gambar 4.4	<i>Pressure coefficient elbow</i> 90° dengan dan tanpa <i>inlet disturbance body</i> sebagai fungsi <i>Reynolds number</i>	69
Gambar 4.5	Grafik <i>velocity profile</i> (a) bidang horizontal sisi <i>upstream straight duct</i> (b) bidang vertikal sisi <i>upstream straight duct</i>	72
Gambar 4.6	Grafik <i>velocity profile</i> bidang horizontal pada masing-masing posisi <i>cross-section</i> berdasarkan <i>test section</i> : (a) sec 1; (b) sec 2; (c) sec 3; (d) sec 4; (e) sec 5; (f) sec 6; (g)sec 9 ; (h) sec 12 ; (i) sec 13 ;(j) sec 14.....	74
Gambar 4.7	Grafik <i>velocity profile</i> bidang vertikal pada masing-masing posisi <i>cross-section</i> berdasarkan <i>test section</i> : (a) sec 1; (b) sec 2; (c) sec 3; (d) sec 4; (e) sec 5; (f) sec 6; (g)sec 9 ; (h) sec 12 ; (i) sec 13 ;(j) sec 14	77
Gambar 4.8	Distribusi Intensitas Turbulensi (IT) pada bidang horizontal dengan $x/D_h=1$ setelah <i>outlet elbow</i> 90°	79
Gambar 4.9	Fluktuasi kecepatan bidang horizontal di daerah $x/D_h = 1$ dan $z/D_h = 0,416$ pada (a) <i>elbow</i> tanpa ditambahkan IDB dan (b) <i>elbow</i> ditambahkan IDB 20°.....	80
Gambar 4.10	Perbandingan profil kecepatan hasil eksperimen dengan penelitian Rup & Sarna (2011) pada <i>elbow</i> 90°	83

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Peralatan penelitian.....	36
-----------	---------------------------	----

” Halaman ini sengaja dikosongkan “

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebuah penelitian yang dilakukan oleh *Shiming Deng & John Burnett* pada tahun 2002 tentang rata-rata penggunaan energi di 16 hotel di Hongkong. Dari penelitian tersebut, didapatkan bahwa konsumsi energi pada gedung-gedung ini antara lain 45% untuk sistem tata udara, 31% untuk non-electrical, 17% untuk sistem tata cahaya, dan 7% untuk sistem transportasi gedung (*lift* atau *escalator*). Data di atas menunjukkan bahwa energi yang menyumbang cukup besar adalah sistem saluran udara, karena membutuhkan daya yang cukup besar untuk mensirkulasikan udara dingin ke setiap ruangan pada gedung bertingkat. Jika mampu menurunkannya maka akan menguntungkan dari segi energi maupun finansial. Salah satu upaya untuk mengurangi konsumsi daya tersebut adalah memperbaiki instalasi saluran udara itu sendiri. Instalasi-instalasi saluran fluida tersebut tidak hanya menggunakan sistem perpipaan dengan pipa lurus, melainkan dapat juga menggunakan pembelokan aliran, penggabungan aliran, ataupun percabangan aliran. Pada kondisi saluran udara yang berbelok-belok tersebut terdapat beberapa komponen saluran diantaranya yaitu sambungan (*fitting*), *inlet disturbance body*, dan *elbow 90°*.

Penggunaan *elbow 90°* dalam perancangan sistem saluran udara akan menyebabkan terjadinya kerugian tekanan pada aliran. Hal tersebut dikarenakan oleh perubahan arah aliran fluida yang melalui saluran tersebut. Penurunan tekanan (*pressure drop*) pada pada aliran yang melewati *elbow 90°* lebih besar dibandingkan dengan pipa lurus dengan panjang yang sama. Besar kecilnya penurunan tekanan (*pressure drop*) pada aliran yang melalui *elbow 90°* tersebut dipengaruhi oleh besarnya jari-jari kelengkungan dan sudut belok dari *elbow 90°* itu sendiri yang menyebabkan terjadinya separasi (*separation loss*) dan aliran sekunder (*secondary flow*) pada pipa *elbow 90°*. Separasi terjadi bila

momentum yang digunakan untuk menggerakkan fluida sudah tidak mampu mengatasi gaya gesek dan tekanan balik (*adverse pressure gradient*) yang mengakibatkan terjadinya *vortex*, getaran, dan kavitasi, dimana kerugian tersebut mengakibatkan penurunan head dan berpotensi merusak instalasi pipa.

Salah satu usaha untuk mengurangi kerugian aliran di dalam *elbow* adalah dengan menambahkan bodi pengganggu (*inlet disturbance body*), dimana penambahan bodi pengganggu (*inlet disturbance body*) sebagai usaha untuk mengurangi *separation loss*. Adanya bodi pengganggu (*inlet disturbance body*), membuat aliran lebih mampu mengikuti kontur permukaan, dan diharapkan dari adanya penambahan bodi pengganggu (*inlet disturbance body*) dapat memecah terbentuknya *secondary flow*. Adapun beberapa penelitian terdahulu mengenai aliran yang melalui saluran dengan bentuk silinder sebagai bodi pengganggu. **Rup dan Sarna (2011)** melakukan penelitian yang dilakukan secara simulasi dan eksperimen untuk menganalisa karakteristik aliran melalui *rectangular duct*. Simulasi ini menggunakan model turbulen RSM (*Reynolds Stress Model*) dilakukan pada $Re = 40000$ yang memiliki ukuran geometri $a \times a = 80 \times 80$ mm, $D_h = 80$ mm dan $L_{inlet} = L_{outlet} = 20D_h = 1600$ mm. Variasi yang dilakukan pada kerapatan *meshing*, dengan jumlah mesh $V_k = 553\,052$, $V_k = 1766\,079$, and $V_k = 1034\,775$. Hasil yang diharapkan yaitu membandingkan hasil eksperimen dan simulasi profil kecepatan pada jarak tertentu dan koefisien tekanan pada aliran sepanjang *elbow*. Kemudian didapatkan bahwa hasil simulasi mendekati hasil eksperimen untuk profil kecepatan sepanjang *elbow* pada lokasi $\phi = 30^\circ$ dan 60° serta perbedaan profil kecepatan yang cukup signifikan pada lokasi $x/D_h = 1.0$ dan $z/D_h = 0.0$ hanya satu simulasi yang mendekati hasil eksperimen yaitu pada variasi *mesh* III ($V_k = 1034\,775$). Selain itu, didapatkan koefisien tekanan maksimum di dinding elbow terjadi pada *cross-section* yang terletak pada sudut $\phi = 45^\circ$ ($Z = 0.00$). **Dutta & Nandi (2015)** membahas tentang pengaruh *Re* dan rasio jari jari kelengkungan terhadap aliran turbulen *single phase* di pipa lengkung / *elbow*. Penelitian ini dilakukan dengan

menggunakan *CFD* sebagai bahan analisa , data-data yang tersedia yaitu rasio kelengkungan $Rc/D = 1$ sampai 5 dengan $Re = 1 \times 10^5$ sampai 10×10^5 . Model turbulensi yang digunakan yaitu $k-\epsilon$ model dengan metode *SIMPLE*. *Geometry* yang digunakan yaitu diameter *inner* sebesar 0,01 m , panjang *inlet* 50D dan panjang *outlet* 20D Didapatkan hasil akselerasi kecepatan tertinggi didapat pada rasio kelengkungan paling rendah yaitu $Rc/D = 1$ sehingga terbentuk aliran yang terseparasi. Sedangkan pada *downstream duct* akselerasi kecepatan pada sisi *inner* dalam mengembalikan menjadi bentuk *fully develop* terdapat pada rasio lengkungan yang besar yaitu $Rc/D = 5$. **Hardian (2017)** melakukan penelitian tentang model saluran berpenampang bujursangkar (*square duct*) dengan $D_h = 125 \text{ mm}$ dengan *upstream duct* (*straight duct*) sepanjang $7D_h$, *Inlet Disturbance Body* dengan $D = 12,5 \text{ mm}$, *elbow* 90° dengan $R/D_h 1,5$, dan *downstream duct* (*straight duct*) sepanjang $15D_h$, serta *induced draft fan*. Pengujian dilakukan dengan variasi jarak $0,1D_h$ sampai $0,5D_h$ dengan Re_{D_h} sebesar $8,74 \times 10^4$ untuk mendapatkan profil kecepatan sepanjang *downstream duct*, *pressure drop* antara *downstream duct* dan *upstream duct*, serta *coefficien pressure elbow* 90° antara *inlet elbow* 90° dan *outlet elbow* 90° , koefisien *loss minor elbow* 90° pada variasi nilai Re_{D_h} sebesar $3,94 \times 10^4 < Re_{D_h} < 13,5 \times 10^4$. Hasil studi eksperimen ini diperoleh bahwa penempatan *inlet disturbance body* pada saluran dengan jarak $0,1D_h$ merupakan jarak paling efektif untuk menurunkan *pressure drop*, sedangkan pada jarak *inlet disturbance body* $0,5D_h$ memiliki *pressure drop* tertinggi. Secara fungsi Reynolds Number, jarak *inlet disturbance body* $0,1D_h$ memiliki nilai *koefisien losses elbow* 90° paling rendah, sedangkan pada variasi tanpa menggunakan *inlet disturbance body* memiliki nilai *koefisien losses elbow* 90° paling tinggi. Perbedaan nilai *Pressure Coefficient* (ΔC_p) yang cukup signifikan pada *elbow* 90° dengan saluran tanpa *inlet disturbance body* dan menggunakan *inlet disturbance body*, dimana didapatkan bahwa ΔC_p pada jarak *inlet disturbance body* $0,1D_h$ terlihat lebih kecil dibandingkan pada jarak $0,5D_h$ maupun tanpa menggunakan *inlet disturbance body*.

Pratama (2017) melakukan penelitian dengan cara eksperimen dengan model saluran yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu *square duct* dengan diameter (D_h) sebesar 125 mm. Saluran udara terdiri dari *upstream duct* sepanjang $7D_h$, IDB dengan diameter sebesar 12,5 mm, *elbow 90°* dengan rasio kelengkungan (R/D_h) sebesar 1,5, *downstream duct* sepanjang $15D_h$, dan *centrifugal fan*. Pengukuran parameter menggunakan *pitot static tube*, manometer, dan *pressure transducer*. IDB diletakkan pada jarak (l/D_h) sebesar 0,1 dari *inlet elbow 90°* dengan variasi gap (g/d) sebesar 0,1 sampai 0,5. Untuk mendapatkan profil kecepatan dan intensitas turbulensi *downstream duct* pada posisi vertikal dan horizontal, pengujian dilakukan pada bilangan Reynolds (Re_{D_h}) $8,74 \times 10^4$. Untuk mendapatkan *pressure coefficient elbow 90°*, pengujian dilakukan pada bilangan Reynolds (Re_{D_h}) $3,97 \times 10^4$, $8,74 \times 10^4$, dan $1,35 \times 10^5$. Untuk mendapatkan *pressure drop square duct* dan *loss coefficient elbow 90°*, pengujian dilakukan pada Re_{D_h} sebesar $4,09 \times 10^4 \leq Re_{D_h} \leq 1,39 \times 10^5$ atau kecepatan udara 5 m/s sampai 17 m/s dengan kenaikan kecepatan 1 m/s. Hasil penelitian diperoleh bahwa penambahan IDB $g/d=0,2$ dapat menurunkan *pressure drop* sebesar 20,52%, sedangkan $g/d=0,4$ dapat meningkatkan *pressure drop*. *Loss coefficient* terkecil pada variasi IDB $g/d=0,2$ dan terbesar pada variasi IDB $g/d=0,4d$. Penambahan IDB dapat menurunkan ΔC_p pada Re_{D_h} $8,74 \times 10^4$. Peningkatan Re_{D_h} dapat meningkatkan ΔC_p setiap variasi IDB. Profil kecepatan bidang horizontal terdampak efek *blockage area* dari posisi setelah melewati *inlet elbow 90°* sampai $x/D_h=8$. Variasi $g/d=0,2$ paling mendekati *freestream* pada $x/D_h=13$. Profil kecepatan bidang vertikal terdampak efek dari aliran sekunder setelah melewati *outlet elbow 90°* sampai $x/D_h=5$. Pada $x/D_h=8$ sampai 13 terjadi proses *recovery* aliran. Variasi tanpa IDB paling mendekati *freestream* pada $x/D_h=13$.

1.2 Rumusan Masalah

Aliran fluida yang melewati suatu saluran udara selalu mengalami penurunan tekanan yang diakibatkan oleh *friction loss*, *secondary flow* dan *separation loss* sehingga penelitian ini dirumuskan masalah mengenai karakteristik aliran pada *square duct* dan *square elbow 90°* yang dipasang *Inlet Disturbance Body* (IDB) berbentuk silinder sirkuler dengan variasi 5°, 10°, 15°, dan 20° pada sisi *inner elbow 90°* dengan *Reynolds Number* $1,4 \times 10^4$ sampai $10,3 \times 10^4$.

1.3 Batasan Masalah

Permasalahan pada penelitian ini dibatasi pada :

1. Fluida yang digunakan adalah udara yang memiliki sifat aliran *incompressible*, *viscous*, dan *steady*.
2. Temperatur fluida pada saluran udara diasumsikan konstan.
3. Perpindahan panas yang terjadi akibat gesekan fluida dan dinding diabaikan.
4. Kekasaran pada permukaan dinding diabaikan.
5. Aliran yang mengalir di dalam saluran udara merupakan aliran turbulen.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan umum dalam penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh interaksi aliran antara *Inlet Disturbance Body* (IDB)) dan kelengkungan (*elbow 90°*) dengan dinding saluran berpenampang bujur sangkar (*square duct*). Adapun tujuan khusus dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Mengetahui *pressure drop* antara *outlet duct* dan *inlet duct*.
2. Mengetahui koefisien *loss minor elbow 90°*.
3. Mengetahui nilai *pressure coefficient* (C_p) pada *elbow 90°*.
4. Mengetahui profil kecepatan pada *downstream duct* (posisi bidang horizontal dan vertikal).
5. Mengetahui Intensitas Turbulensi akibat adanya penambahan bodi pengganggu.

1.5. Manfaat Penelitian

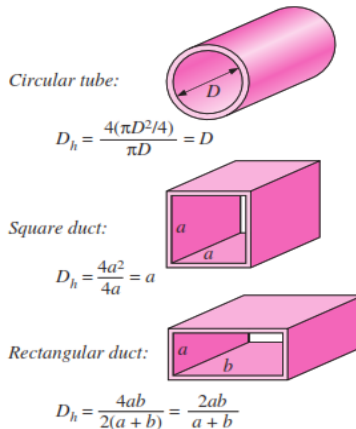
Manfaat yang akan didapat setelah melakukan penelitian ini sebagai berikut :

1. Memberikan penjelasan tentang *pressure drop* instalasi saluran udara antara *downstream duct* dan *upstream duct* yang dipasang *Inlet Disturbance Body* pada sisi *inner elbow 90°* yang divariasikan terhadap jarak lengkungan *elbow 90°* sebesar 5°, 10°, 15°, dan 20°.
2. Memberikan penjelasan tentang *pressure drop* antara *inlet elbow 90°* dan *outlet elbow 90°* serta koefisien *loss minor elbow 90°* yang dipasang *Inlet Disturbance Body* pada sisi *inner elbow 90°* yang divariasikan terhadap jarak lengkungan *elbow 90°* sebesar 5°, 10°, 15°, dan 20°.
3. Memberikan gambaran tentang perbedaan nilai *pressure coefficient* (C_p) pada *elbow 90°* yang dipasang *Inlet Disturbance Body* pada sisi *inner elbow 90°* yang divariasikan terhadap jarak lengkungan *elbow 90°* sebesar 5°, 10°, 15°, dan 20°.
4. Memberikan gambaran tentang perbedaan profil kecepatan aliran pada *downstream duct* yang melewati suatu saluran berpenampang *square* dan *elbow 90°* yang dipasang *Inlet Disturbance Body* pada sisi *inner elbow 90°* yang divariasikan terhadap jarak lengkungan *elbow 90°* sebesar 5°, 10°, 15°, dan 20°.

BAB II DASAR TEORI

2.1 Sistem Saluran Udara (*Ducting*)

Secara umum *ducting* merupakan suatu benda yang berbentuk *square* (kotak) dan *round* (spiral) yang berfungsi sebagai media untuk mendistribusikan fluida yang bersifat udara dari suatu tempat ke tempat lain. *Ducting* juga bisa diartikan suatu benda kotak atau spiral yang berfungsi untuk mensirkulasikan sejumlah udara dari suatu ruangan dengan bantuan *fan unit/ blower*, serta *AC central* dengan menggunakan sistem resirkulasi (*return air*).



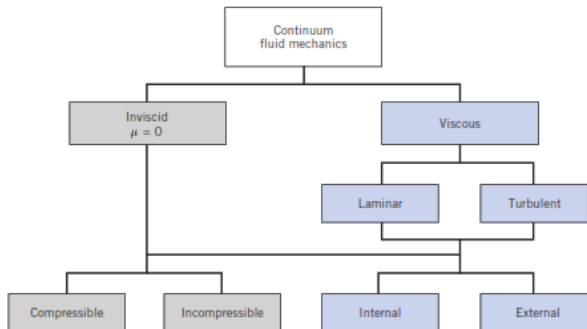
Gambar 2.1 Macam – macam bentuk *ducting* (a) *Circular Tube*
(b) *Square Duct* (c) *Rectangular Duct*
(Cengel dan Cimballa, 2006)

Selain itu, terdapat berbagai macam fungsi *ducting* dalam penggunaannya dalam kehidupan sehari – hari, antara lain sebagai *supply* udara dingin ke ruangan yang dikondisikan (*supply air*), *ducting* yang berfungsi sebagai *supply* dari udara luar (*fresh air*) dan ada pula *ducting* yang berfungsi untuk membuang udara dari dalam ke luar (*exhaust air*). Secara fisik bentuk *ducting supply air* ini berinsulasi karena untuk mempertahankan udara dingin yang

didistribusikan tidak terbang, sedangkan untuk *ducting fresh air* dan *exhaust air* ini tidak menggunakan insulasi, lapisan dari insulasi ini antara lain : *Glasswool*, *Aluminium Foil*, *Spindle pin*/ pengikat/ tali/ *flinkote*. Sedangkan untuk lapisan *ducting* didekat unit *AC Indoor* (untuk sistem *AC Split*) atau Unit *Air Handling Unit* (sistem *central*) biasanya bagian dalamnya menggunakan *Glasswool* dan *glassclotch*, untuk meredam bunyi bising dari unit. Bahan yang digunakan untuk *ducting* itu sendiri bermacam-macam, ada yang terbuat dari bahan *PVC*, *mild steel*, BJLS (baja lapis seng), *PU (Polyurethane)*, untuk *ducting* yang terbuat dari bahan *PU* tidak perlu menggunakan lapisan luar karena lapisannya sudah tersedia dari pabrikan hanya untuk lapisan dalamnya saja yang terdapat didekat unit menggunakan *glassclotch*.

2.2 Klasifikasi Aliran Fluida

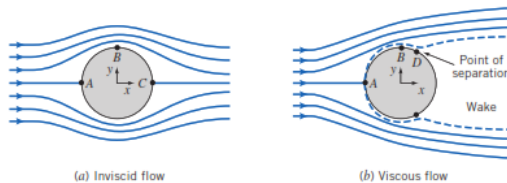
Sulitnya menganalisa partikel berbentuk *liquid* maupun *gasses* secara mikroskopis, maka dilakukan pendekatan secara makroskopis dengan harapan mampu melihat karakter fluida yang dibahas, fluida harus diasumsikan sebagai “*Fluid as continuum*”, sebagai konsekuensinya bahwa seluruh *properties* fluida merupakan suatu fungsi dari kedudukan dan waktu. Klasifikasi jenis fluida diilustrasikan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Klasifikasi fluida berdasarkan jenis alirannya
(Fox dan Mc. Donald ,2011)

2.2.1 Aliran *Viscous* dan *Inviscid*

Aliran *viscous* merupakan aliran yang dipengaruhi oleh viskositas fluidanya. Viskositas fluida mempengaruhi aliran udara karena fluida mengalir akan bergesekan dengan dinding. Gambar 2.3 menunjukkan ilustrasi suatu aliran fluida yang mengalir melewati permukaan bola. Poin A dan C menunjukkan titik stagnasi. Pada poin A dan C, kecepatan aliran fluida sebesar nol sehingga tekanan terbesar terdapat pada titik tersebut. Sedangkan pada poin B merupakan titik dengan kecepatan paling besar sehingga tekanan terkecil berada pada titik tersebut. Pada titik B dan C terjadi perbedaan tekanan yang menimbulkan terjadinya gerakan aliran melawan arah aliran utama atau biasanya disebut dengan *advers pressure*.



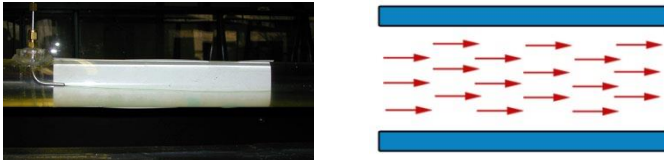
Gambar 2.3 Ilustrasi aliran *inviscid* dan *viscous*
(Fox dan Mc. Donald, 2011)

Aliran *inviscid* digambarkan suatu aliran fluida tanpa dipengaruhi gesekan terhadap dinding permukaan bola sehingga profil kecepatan aliran akan menyatu kembali setelah melewati titik B. Sedangkan pada aliran *viscous* terdapat titik separasi pada titik D, ketika aliran utama dilawan oleh *advers pressure*, maka kecenderungan aliran akan terseparasi karena momentum aliran utama tidak mampu melawannya sehingga memicu terjadinya *vortex*. *Vortex* merupakan suatu kerugian karena berkurangnya aliran yang mengalir karena adanya *pressure drop*.

2.2.2 Aliran Laminar dan Turbulen

Aliran Laminar

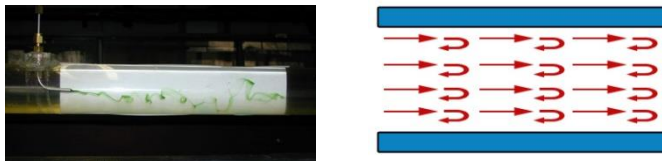
Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran dengan fluida bergerak dalam lapisan-lapisan atau lamina-lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar. Aliran laminar ini mempunyai nilai bilangan *Reynold* kurang dari 2300 ($Re < 2300$).



Gambar 2.4 Aliran Laminar (Munson et al,2002)

Aliran Transisi

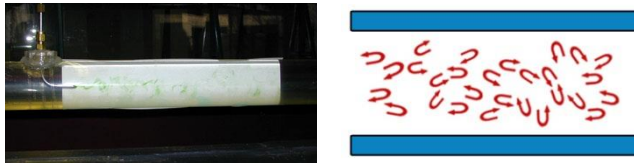
Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen. Keadaan peralihan ini tergantung pada viskositas fluida, kecepatan dan lain-lain yang menyangkut geometri aliran dimana nilai bilangan Reynoldsnya antara 2300 sampai dengan 4000 ($2300 < Re < 4000$).



Gambar 2.5 Aliran Transisi (Munson et al,2002)

Aliran Turbulen

Aliran turbulen didefinisikan sebagai aliran yang dimana pergerakan dari partikel-partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami percampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida ke bagian fluida yang lain dalam skala yang besar. Dimana nilai bilangan Reynoldsnya lebih besar dari 4000 ($Re > 4000$).



Gambar 2.6 Aliran Turbulen (Munson et al,2002)

2.2.3 Aliran *Inkompresible*

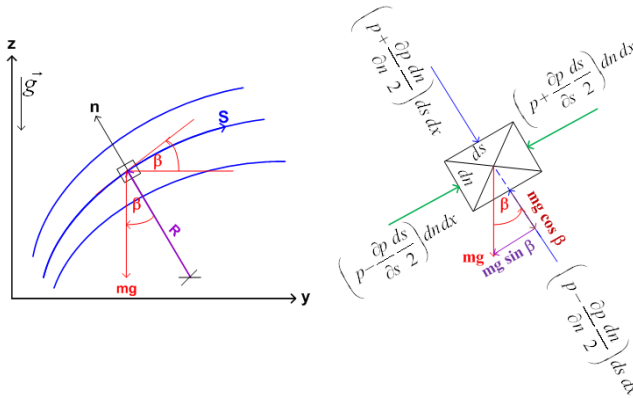
Aliran *inkompresible* merupakan aliran yang variasi densitasnya diabaikan. Untuk menentukan jenis aliran ini dapat menggunakan *Mach number*. *Mach number* merupakan bilangan tak berdimensi yang dapat menentukan jenis aliran *inkompresible* atau *compresible* berdasarkan kecepatan aliran dibandingkan dengan kecepatan suara. Kecepatan suara pada suhu 21°C bernilai 344 m/s. Jika nilai dari *Mach number* kurang dari 0,3, maka aliran tersebut termasuk aliran *inkompresible*. Apabila lebih dari 0,3, maka aliran tersebut termasuk aliran *compresible*. Namun terdapat suatu kondisi udara termasuk batas aliran *inkompresible* yakni pada kecepatan 100 m/s nilai *Mach number* sebesar 0,3

2.3 Persamaan Euler Dalam Koordinat *Streamline*

Pada sebuah aliran tunak, aliran fluida di sepanjang *streamline* setiap partikel fluida yang berurutan melewati titik tertentu akan mengikuti lintasan yang sama. Dalam aliran tunak sebuah partikel fluida akan bergerak di sepanjang *streamline* dikarenakan untuk *steady flow*, *pathlines* dan *streamline* berlangsung dengan bersamaan. Dari persamaan Euler dibangun persamaan gerak yang dinyatakan dalam koordinat *streamline* untuk *inviscid flow*.

$$\rho \frac{D\vec{v}}{Dt} = \rho \vec{g} - \nabla p \quad (2.1)$$

Untuk memperjelas, dapat dilihat aliran pada bidang *yz* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7. Persamaan gerak dituliskan dalam koordinat *s* (jarak disepanjang *streamline*) dan juga koordinat *n* (jarak normal terhadap *streamline*). Tekanan di pusat dari element adalah *p*.



Gambar 2.7 Gerakan partikel fluida di sepanjang *streamline* (Fox dan Mc. Donald , 2011)

Untuk *steady flow* dan mengabaikan *body forces*, persamaan Euler di sepanjang *streamline* ke arah *s* dinyatakan sebagai berikut,

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} = -V \frac{\partial V}{\partial s} \quad (2.2)$$

persamaan (2.2) tersebut menunjukkan hubungan antara kecepatan dengan tekanan, yang mana apabila terjadi penurunan kecepatan maka terjadi peningkatan tekanan, begitu pula sebaliknya. Hal ini sangat sesuai dengan hukum kekekalan energi, yang menyatakan bahwa apabila suatu aliran ideal tanpa gesekan dijumlahkan antara komponen tekanan dan kecepatannya pada setiap titik, maka hasilnya adalah sama.

Untuk persamaan gerak ke arah *n* dapat dinyatakan sebagai berikut,

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} = \frac{V^2}{R} \quad (2.3)$$

persamaan (2.3) menunjukkan bahwa terjadi peningkatan tekanan ke arah luar dari lengkungan *streamline*. Hal ini dapat terjadi dikarenakan gaya yang bekerja pada partikel hanyalah gaya dari tekanan, medan tekanan menyebabkan percepatan sentripetal. Pada daerah *streamline* yang lurus atau radius kelengkungannya (*R*) tak

terhingga maka tidak ada perbedaan antara tekanan normal terhadap *streamline* lurus.

2.4 Reynolds Number

Bilangan *Reynolds* adalah bilangan tidak berdimensi yang dapat mengklasifikasikan jenis aliran fluida. Pada umumnya jenis aliran fluida dapat dibagi menjadi 3 jenis yaitu laminar, transisi, dan turbulen. Dalam aplikasinya, aliran transisi jarang digunakan. Aliran fluida lebih sering diklasifikasikan menjadi 2 jenis aliran saja (laminar dan turbulen). Secara perumusan, bilangan *Reynolds* dapat ditulis sebagai berikut:

$$Re = \frac{\bar{V} \cdot D}{\nu} \quad (2.4)$$

Dimana : \bar{V} = Kecepatan fluida yang mengalir $\left(\frac{m}{s}\right)$

D = Diameter dalam pipa (m)

ν = Kekentalan kinematik fluida $\left(\frac{m^2}{s}\right)$

Untuk fluida yang melewati pipa yang tidak berbentuk *circular*, maka diameternya menggunakan diameter hidrolis (D_h), dimana D_h dihitung menggunakan rumus:

$$D_h = \frac{4A}{P} \quad (2.5)$$

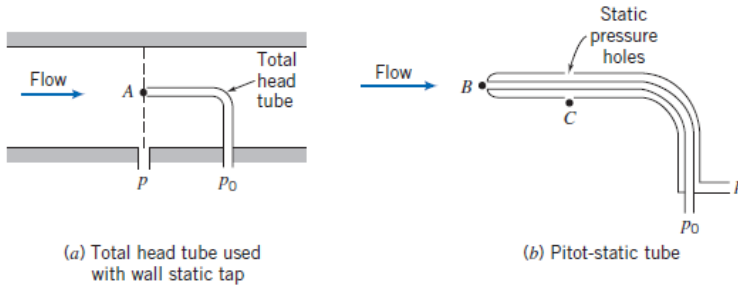
Dimana : D_h = Diameter hidrolis (m)

A = Luas penampang (m^2)

P = Keliling penampang (m)

2.5 Tekanan Statis, Tekanan Stagnasi, dan Tekanan Dinamis

Tekanan yang diukur melalui suatu alat yang bergerak bersama aliran dengan kecepatan relatif alat ukur terhadap aliran dinamakan tekanan statis. Pengukuran tekanan statis biasanya menggunakan *wall pressure tap*, kecepatan aliran fluida pada permukaan dinding akan bernilai nol karena tidak ada fluida yang ideal (*non viscous*).



Gambar 2.8 Pengukuran Tekanan Stagnasi dan Tekanan Statis
(Fox dan Mc. Donald, 2011)

Tekanan stagnasi dapat didefinisikan sebagai tekanan yang diukur pada daerah dimana aliran fluida diperlambat hingga nol dengan proses perlambatan tanpa gesekan. Persamaan Bernoulli dapat diterapkan pada aliran inkompresibel untuk sepanjang suatu *streamline*, yang dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{P}{\rho} + \frac{\bar{V}^2}{2} + g = \text{konstan} \quad (2.6)$$

Pengukuran tekanan stagnasi (P_o) dimana kecepatannya (U_o) adalah nol dan $z_o = z$ maka persamaan Bernoulli di atas menjadi :

$$P_o = P + \frac{\bar{V}^2}{2} \rho \quad (2.7)$$

Tekanan dinamis merupakan selisih antara tekanan stagnasi dengan tekanan statis.

$$P_o - P = \frac{1}{2} \rho \bar{V}^2 \quad (2.8)$$

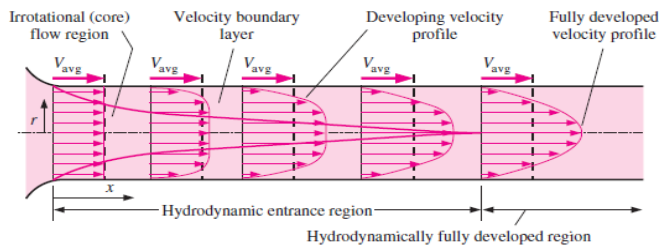
Dimana :

- P : Tekanan statis (N/m^2)
- P_o : Tekanan stagnasi (N/m^2)
- ρ : Densitas fluida (kg/m^3)
- U : Kecepatan aliran fluida (m/s)
- g : Percepatan gravitasi bumi (m/s^2)
- z : Ketinggian (m)

2.6 Karakteristik Aliran di dalam Saluran Udara

Karakteristik struktur aliran internal (dalam pipa) sangat tergantung dari kecepatan rata-rata aliran dalam pipa, densitas, viskositas dan diameter pipa. Pada instalasi sistem *ducting* ataupun perpipaan, *elbow* merupakan bagian yang menyebabkan terjadinya *pressure drop* yang cukup besar. Hal tersebut dikarenakan adanya perubahan arah aliran fluida yang dapat menyebabkan terjadinya separasi dan *secondary flow*.

2.6.1 Aliran Berkembang Penuh

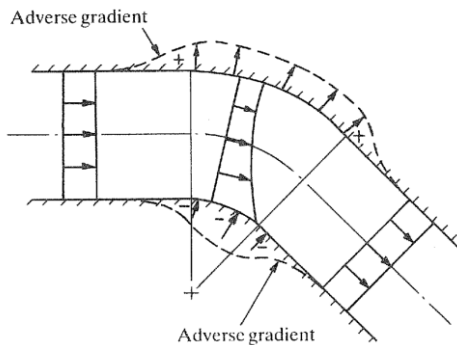


Gambar 2.9 Profil Aliran *Internal flow* pada pipa
(Cengel dan Cimbala , 2006)

Fully Developed Flow merupakan suatu fenomena aliran dimana terjadinya *boundary layer* maksimum atau profil kecepatan yang tetap, tidak mengalami perubahan. Profil ini dipengaruhi oleh viskositas yang berakibat pada terjadinya gaya geser antara profil kecepatan. Fenomena aliran seperti ini akan terjadi ketika aliran yang mengalir tidak mengalami gangguan, seperti *fitting*, instalasi, dan sebagainya. Setiap aliran baik aliran laminar maupun aliran turbulen mempunyai besaran yang berbeda dimana untuk aliran laminar bernilai konstan dari titik awal, hal tersebut terjadi karena pengaruh kecepatan fluida sehingga *fully developed flow* lebih cepat, berbeda dengan aliran turbulen dimana *fully developed flow* disebabkan oleh adanya aliran acak sehingga *fully developed flow* terjadi lebih panjang.

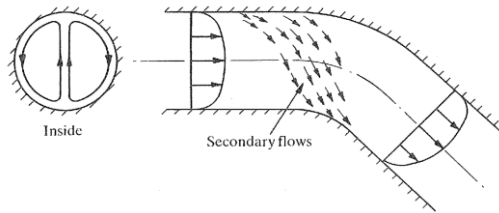
2.6.2 Aliran sekunder (*secondary flow*) yang terjadi pada Elbow

Aliran yang melintasi suatu *fitting* seperti *elbow* akan terjadi perubahan arah aliran dimana akan mempengaruhi perubahan tekanan statis dan distribusi kecepatan aliran , sehingga menimbulkan dua tekanan balik (*adverse pressure*) seperti pada gambar 2.10



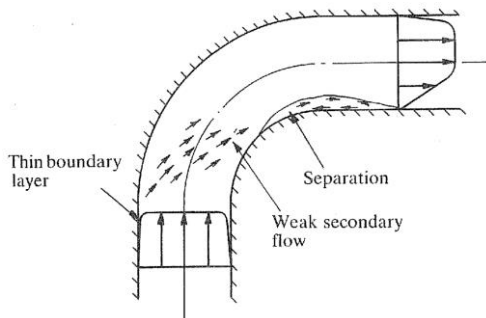
Gambar 2.10 Aliran yang ideal di sepanjang lengkung saluran (Miller ,1990)

Apabila aliran tidak mampu mengatasi tekanan balik tersebut , maka akan terjadi aliran sekunder dan turbulensi pada struktur aliran yang disebabkan oleh bentuk saluran yang melengkung atau pada *elbow*. Pada sisi *inner* dan *outer wall* terjadi perbedaan distribusi kecepatan, ini terjadi karena aliran yang bergerak dari sisi *outer wall* menuju *inner wall* yang memiliki tekanan statis semakin besar. Adanya perbedaan tekanan pada kedua sisi menyebabkan aliran di dalam *elbow* tidak sepenuhnya mengikuti aliran utama. Hal ini hanya terjadi pada *elbow* berpenampang lingkaran , sedangkan untuk *elbow* berpenampang persegi fenomena *boundary layer* hanya dijumpai pada sisi bawah. Aliran sekunder dapat digambarkan pada gambar 2.11 berikut :



Gambar 2.11 Aliran sekunder yang terbentuk akibat adanya lengkungan (Miller ,1990)

2.6.3 Proses Terjadinya Separasi Aliran Pada *Elbow 90°*



Gambar 2.12 Separasi aliran pada *inner wall elbow 90°* (Miller ,1990)

Gambar 2.12 menunjukkan profil kecepatan aliran ketika melewati suatu *inner wall elbow 90°*. Proses separasi berawal dari aliran yang bergesekan dengan dinding, kemudian setelah melewati elokan pada sisi *inner wall* terjadi perbedaan distribusi tekanan (*advers pressure gradient*). Adanya *advers pressure gradient* menyebabkan terjadinya separasi aliran. Setelah aliran terseparasi pada sisi *inner wall* terjadi penurunan momentum aliran, hal tersebut menunjukkan timbulnya *vortex* atau *backflow*. Separasi aliran yang terjadi dapat berpengaruh sampai aliran meninggalkan *elbow 90°*. Efek dari *backflow* akan semakin membesar menyebabkan terjadinya penyempitan bidang alir aliran udara. Hal tersebut menimbulkan peningkatan *pressure drop*.

2.7 Head Loss

Head loss merupakan suatu fenomena rugi– rugi aliran di dalam sistem perpipaan. Rugi–rugi aliran selalu terjadi pada sistem perpipaan dengan menggunakan berbagai macam fluida, seperti fluida cair dan gas. Pada umumnya, rugi aliran yang terbesar terjadi pada fluida cair, hal ini dikarenakan sifat molekulnya yang padat dibandingkan gas dan memiliki gesekan lebih besar terhadap media yang dilaluinya, terutama jika koefisien gesek media yang dilalui itu lebih besar, maka gesekan yang terjadi pun akan semakin besar. *Head losses* sangat merugikan dalam aliran fluida di dalam sistem perpipaan, karena *head losses* dapat menurunkan tingkat efisiensi aliran fluida.

Salah satu penyebab *head losses* adalah konstruksi desain dari sistem perpipaan tersebut. Jika konstruksi memiliki percabangan yang lebih banyak maka akan memperbesar rugi alirannya, selain itu aliran yang semula dalam keadaan laminar pada saat melalui pipa lurus yang koefisien geseknya besar akan berubah menjadi aliran turbulen. Kondisi aliran turbulen inilah yang dapat merugikan dalam sistem perpipaan tersebut, seperti akan menimbulkan getaran dan juga pengelupasan dinding pipa. Selain itu akibat yang paling mendasar dengan adanya rugi-rugi aliran (*head losses*) adalah dapat menyebabkan besarnya energi yang dibutuhkan untuk menggerakkan aliran fluida yang berdampak meningkatnya penggunaan listrik pada mesin penggerak fluida seperti pompa. *Head losses* (rugi aliran) sering terjadi pada sistem perpipaan untuk seluruh perusahaan, industri rumah tangga, dan tempat lainnya yang menggunakan pipa sebagai distribusi aliran fluida. Perhitungan *head loss* dapat ditentukan dengan persamaan kesetimbangan energi, pada persamaan 2.9 sebagai berikut:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{\bar{V}_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{\bar{V}_2^2}{2g} + z_2 + \sum H_{LT} \quad (2.9)$$

Dimana :	P	: Tekanan statis (Pa)
	ρ	: Massa jenis fluida (kg/m^3)
	g	: Percepatan gravitasi (m/s^2)
	\bar{V}	: Kecepatan rata-rata aliran (m/s)
	α	: Koefisien energi kinetik
	z	: Ketinggian fluida (m)
	H_{LT}	: <i>Head loss total</i> (m)

Jika diasumsikan :

1. tidak ada perubahan area penampang dari saluran $\rightarrow \alpha_1 \frac{\bar{V}_1^2}{2g} = \alpha_2 \frac{\bar{V}_2^2}{2g} \rightarrow \alpha_1 \frac{\bar{V}_1^2}{2g} - \alpha_2 \frac{\bar{V}_2^2}{2g} = 0$
2. tidak ada perubahan ketinggian $\rightarrow z_1 = z_2 \rightarrow (z_1 - z_2) = 0$ maka *head loss* dapat dituliskan menjadi persamaan 2.10 sebagai berikut:

$$\sum H_L = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} \quad (2.10)$$

2.7.1 Head Loss Mayor

Head losses mayor (rugi mayor) adalah besar nilai kehilangan energi yang diakibatkan oleh gesekan antara fluida dengan dinding pipa lurus yang mempunyai luas penampang yang tetap. Untuk menghitung *head loss mayor* dibedakan menurut jenis aliran fluidanya. *Head loss* yang terjadi pada aliran *fully developed* yang melewati pipa lurus horizontal dinyatakan sebagai kerugian tekanan aliran fluida *fully developed* melalui pipa penampang konstan.

a. Laminar

Untuk aliran laminar, berkembang penuh pada pipa horisontal, maka penurunan tekanan dapat dihitung secara analitis, yaitu:

$$\Delta P = \frac{128 \mu L Q}{\pi D^4} = 32 \frac{L}{D} \frac{\mu \bar{V}}{D} \quad (2.11)$$

Substitusi dari persamaan , didapatkan:

$$h_l = 32 \frac{L}{D} \frac{\mu \bar{V}}{\rho D} = \left(\frac{64}{Re} \right) \frac{L}{D} \frac{\bar{V}^2}{2} \quad (2.12)$$

Dimana: h_l = *head losses mayor* (m)

b. Turbulen

Head losses mayor untuk aliran turbulen dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$h_l = f \frac{L}{D} \frac{\bar{V}^2}{2g} \quad (2.13)$$

Dan koefisien gesekan (f) untuk aliran laminar adalah:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (2.14)$$

Dimana f (koefisien gesek) didapat dari hasil eksperimen dan dipengaruhi oleh bilangan *Reynolds* (Re) dan kekasaran permukaan relatif $\left(\frac{l}{D} \right)$.

2.7.2 Head Loss Minor

Head losses minor (rugi minor) adalah besar nilai kehilangan energi aliran fluida di dalam pipa yang disebabkan oleh perubahan luas penampang jalan aliran, *entrance*, *fitting*, dan lain sebagainya. *Minor losses* adalah rugi yang disebabkan gangguan lokal seperti pada perubahan penampang, adanya katub, belokan *elbow* dan sebagainya. Kerugian ini dapat diketahui dari persamaan:

$$h_{lm} = K \cdot \frac{\bar{V}^2}{2g} \quad (2.15)$$

Dimana : h_{lm} = *head losses minor* (m)

2.8 Pressure Coefficient

Dalam sistem *ducting*, sistem perpipaan, atau model pengujian lainnya, sering kali dilakukan modifikasi parameter, $\Delta p / \rho V^2$, dengan memasukkan faktor $\frac{1}{2}$ untuk membuat *denominator* menyediakan tekanan dinamik. Maka terbentuklah rasio berikut,

$$C_p = \frac{\Delta p}{\frac{1}{2}\rho V^2} = \frac{p_\infty - p_c}{\frac{1}{2}\rho V^2} \quad (2.16)$$

Dimana: C_p : *Pressure coefficient*
 p_c : Tekanan statik pada kontur (kg/ms²)
 p_∞ : Tekanan statik pada freestream (kg/ms²)
 $\frac{1}{2} \rho V^2$: Tekanan dinamis aliran bebas (kg/ms²)

Rasio ini merupakan rasio antara gaya tekanan terhadap gaya inersia, dan rasio ini disebut dengan *Euler number*. *Euler number* sering disebut dengan *pressure coefficient*, C_p dalam pengujian suatu model, *pressure coefficient* secara tidak langsung digunakan untuk menyatakan besarnya *pressure drop*. *Pressure coefficient* pada *elbow* didefinisikan sebagai selisih antara tekanan statis pada dinding dengan tekanan statis referensi dibagi dengan dinamis yang diukur pada *inlet*.

2.9 Intensitas Turbulensi

Intensitas turbulensi merupakan bilangan untuk menentukan fluktuasi dari turbulensi dengan membandingkan *root mean square* dari fluktuasi kecepatan (u') terhadap kecepatan rata-rata (u_{avg}). Intensitas turbulensi dinyatakan dalam bentuk prosentase. Intensitas turbulensi dapat dinotasikan pada persamaan 2.17 sebagai berikut:

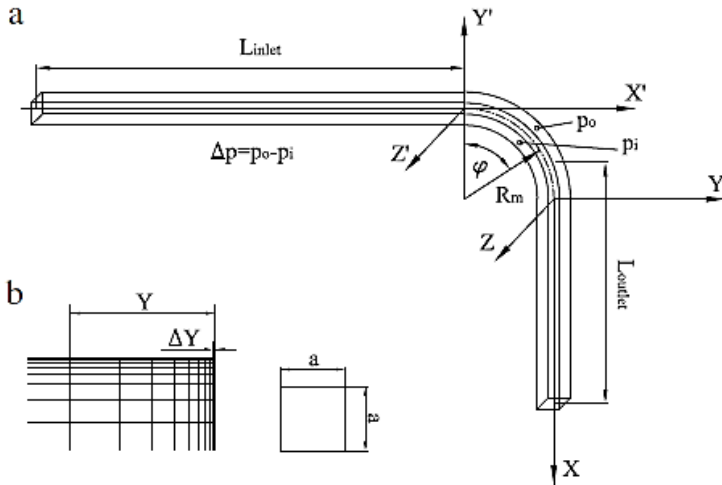
$$IT = \frac{u'}{u_{avg}} \times 100 \% \quad (2.17)$$

$$u' = \sqrt{\frac{\sum(u_{avg} - U_n)^2}{n-1}} \quad (2.18)$$

Dimana: IT : Intensitas turbulensi
 U_n : Kecepatan lokal (m/s)
 u_{avg} : Kecepatan rata-rata (m/s)
 u' : Standar deviasi fluktuasi kecepatan (m/s)

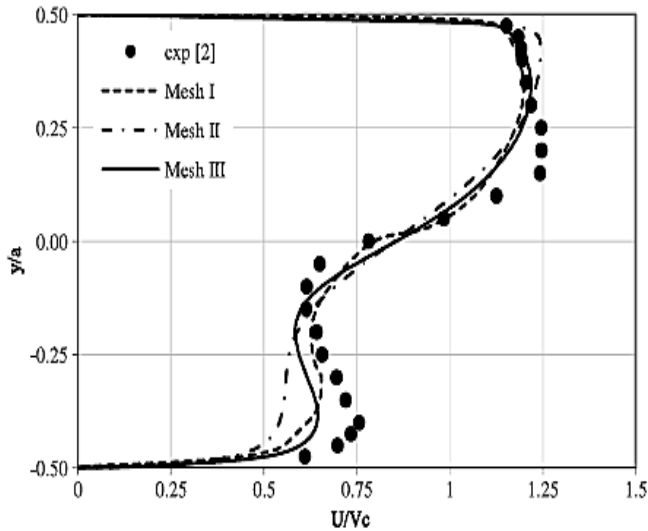
2.10 Penelitian Terdahulu

Rup dan Sarna (2011) melakukan penelitian yang dilakukan secara simulasi dan eksperimen untuk menganalisa karakteristik aliran melalui *rectangular duct*. Simulasi ini menggunakan model turbulen RSM (*Reynolds Stress Model*) dilakukan pada $Re = 40000$ yang memiliki ukuran geometri $a \times a = 80 \times 80$ mm, $D_h = 80$ mm dan $L_{inlet} = L_{outlet} = 20D_h = 1600$ mm seperti yang terlihat pada gambar 2.17. Variasi yang dilakukan pada kerapatan *meshing*, dengan jumlah mesh $V_k = 553\ 052$, $V_k = 1766\ 079$, and $V_k = 1034\ 775$



Gambar 2.13 a) Posisi pengambilan data pada *domain* uji b) Mesh pada *Volume*. (Rup & Sarna 2011)

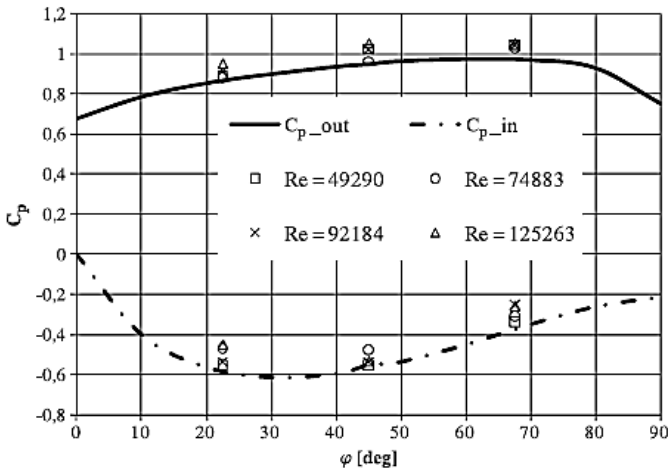
Hasil yang didapatkan yaitu membandingkan hasil eksperimen dan simulasi profil kecepatan pada jarak tertentu dan koefisien tekanan pada aliran sepanjang *elbow*.



Gambar 2.14 Perbandingan profil kecepatan didapat dari simulasi dan eksperimen untuk $x/Dh = 1.0$ dan $z/Dh = 0.0$ (Rup & Sarna 2011)

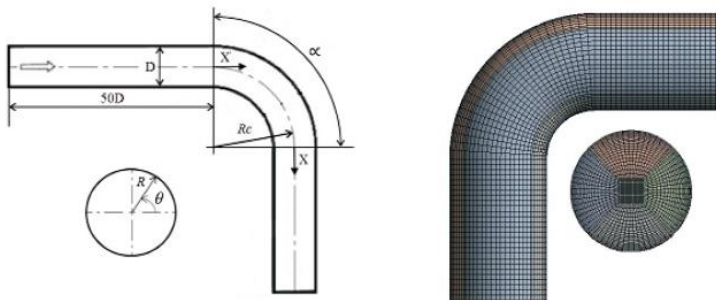
Terdapat perbedaan yang jelas terlihat pada gambar 2.14 yang menunjukkan profil kecepatan pada dengan lokasi $x/Dh = 1.0$ dan $z/Dh = 0.0$ hanya satu simulasi yang mendekati hasil eksperimen yaitu pada variasi *mesh* III ($V_k = 1034\ 775$). Terjadi perbedaan kecepatan pada sisi *inner* dan sisi *outer* pada saluran setelah melewati *elbow*, hal itu dikarenakan adanya defisit momentum aliran pada sisi *inner* maupun *outer*, namun defisit momentum pada sisi *inner* jauh lebih tinggi dibandingkan dengan sisi *outer*.

Gambar 2.15 memberikan informasi tentang distribusi koefisien tekanan pada *elbow* yang, dapat diamati bahwa koefisien tekanan maksimum di dinding *elbow* terjadi pada *cross-section* yang terletak pada sudut $\phi = 45^\circ$ ($Z = 0.00$). Perbedaan tekanan ini menjadi parameter untuk menentukan besar koefisien *losses* pada *elbow* tersebut.



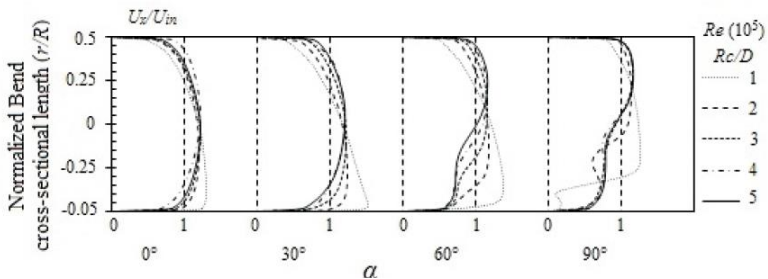
Gambar 2.15 Perbandingan koefisien tekanan pada kedua sisi *inner* dan *outer wall elbow* hasil simulasi dan eksperimen.
(Rup & Sarna 2011)

Dutta dan Nandi (2015) melakukan studi eksperimen dan numerik tentang pengaruh *Reynolds Number* dan *Curvature Ratio* pada aliran turbulen dalam pipa melengkung. Pada penelitian ini, aliran turbulen mengalir melalui saluran sirkular dengan pipa melengkung 90° (*elbow* 90°) menggunakan *curvature ratio* ($Rc/D = 1$ sampai 5) dengan memiliki diameter inner yang sama yaitu $0,01$ m serta menggunakan panjang *inlet* $50D$ dan panjang *outlet* $20D$, dimana Rc adalah radius kelengkungan dan D adalah diameter pipa serta menggunakan bilangan Re dari 1×10^5 sampai 10×10^5 .



Gambar 2.16 Geometri pipa melengkung dan permodelan komputasinya (Dutta dan Nandi 2015)

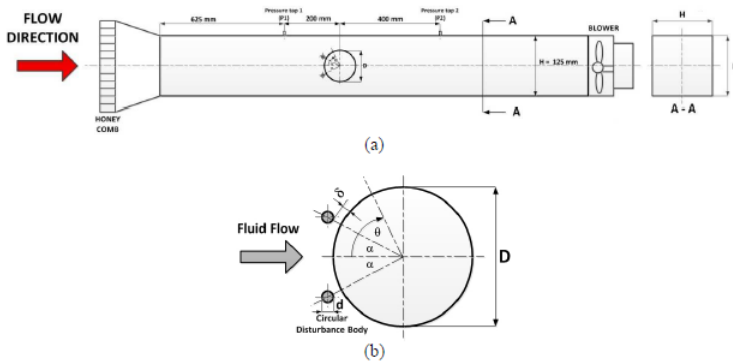
Dari penelitian ini didapatkan bahwa untuk nilai Re yang semakin tinggi, maka pengaruh kelengkungan akan menurun. Kecenderungan separasi aliran akan meningkat untuk lengkungan dengan *curvature ratio* yang rendah serta kemampuan melawan *unsteady* dan *complex flow* akan meningkat untuk lengkungan dengan *curvature ratio* yang tinggi.



Gambar 2.17 Velocity profile pada sudut 0° , 30° , 60° , dan 90° dengan variasi *curvature ratio* ($R_c/D = 1 - 5$) (Dutta dan Nandi 2015)

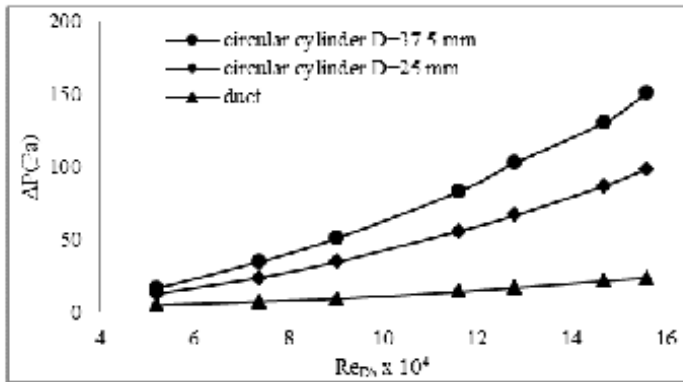
Gambar 2.17 adalah *velocity profile* untuk variasi 5 jenis *curvature ratio* ($R_0/D = 1 - 5$) dengan menggunakan *Reynolds Number* ($Re = 1 \times 10^5$). Pada outlet elbow ($\alpha = 90^\circ$), terdapat aliran balik sebagai akibat dari *adverse pressure* pada outlet elbow dimana memiliki momentum aliran yang lebih rendah daripada momentum pada *freestream*, yang mana menurunkan kecepatan pada dekat dinding dan *boundary layer thickness*. Selain itu juga didapati bahwa percepatan yang lebih tinggi terjadi pada *curvature ratio* yang rendah.

Wawan & Nuzul (2004) , melakukan penelitian mengenai penambahan bodi silinder pengganggu pada silinder sirkular utama , penelitian ini dilakukan secara eksperimen menggunakan *wind tunnel square* dengan sisi 125 x 125 mm serta silinder sirkular yang digunakan diameter 25 mm ($d/D = 0,16$) dan 37,5 mm ($d/D = 0,107$) dengan penambahan bodi pengganggu berdiameter 4 mm yang diletakkan pada posisi 20 sampai 60 *gap* 0,4 mm. *Re* yang digunakan berbasis diameter hidraulik sebesar $5,21 \times 10^4$ sampai $15,6 \times 10^4$. skema model uji diilustrasikan pada gambar 2.17.



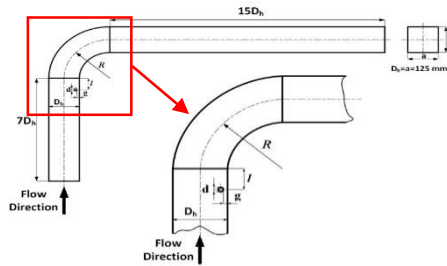
Gambar 2.18 (a) Skema posisi peletakkan silinder sirkular pada *wind tunnel* dan (b) posisi dari bodi pengganggu
(Wawan&Nuzul,2004)

Didapatkan hasil perbandingan antara *pressure drop* dengan *Re* dimana pada $D = 37,5$ *blockage ratio* 36,4 % memiliki *pressure drop* yang lebih besar dari $D = 25$ diakibatkan adanya *blockage effect* sehingga aliran *free streamnya* bergerak lebih cepat. *Pressure drop* yang terjadi diilustrasikan pada gambar 2.18.



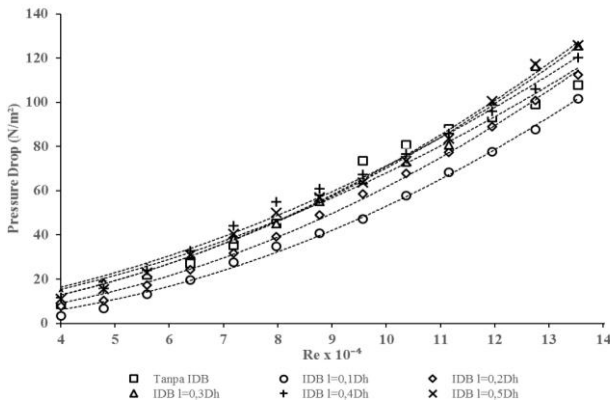
Gambar 2.19 *Pressure drop* yang terjadi dengan dan tanpa silinder sirkular (Wawan&Nuzul,2014)

Aqhfa (2017) melakukan penelitian secara eksperimen untuk menganalisis karakteristik aliran dalam *square ducting* dengan model saluran berpenampang bujursangkar (*square duct*) dengan $D_h = 125$ mm yang terdiri dari : *upstream duct* (*straight duct*) dengan panjang $7D_h$, *Inlet Disturbance Body* dengan $D = 12,5$ mm, *elbow* 90° , dan dilengkapi *downstream duct* (*straight duct*) dengan panjang $15D_h$, serta *induced draft fan*. Pengukuran dalam penelitian ini menggunakan *pitot static tube*, *inclined manometer*, dan *pressure transducer*. Pengujian dilakukan dengan variasi jarak $0,1D_h$ sampai $0,5D_h$ dengan Re_{Dh} sebesar $8,74 \times 10^4$ untuk mendapatkan profil kecepatan sepanjang *downstream duct*, *pressure drop* antara *downstream duct* dan *upstream duct*, serta *pressure drop elbow* 90° antara *inlet elbow* 90° dan *outlet elbow* 90° berupa nilai *pressure coefficient*, koefisien *loss minor elbow* 90° pada variasi nilai Re_{Dh} sebesar $3,94 \times 10^4 < Re_{Dh} < 13,5 \times 10^4$.



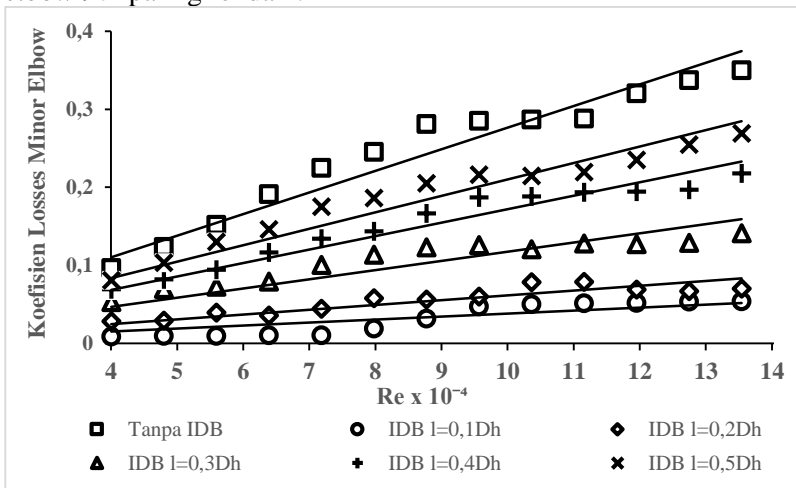
Gambar 2.20 Skema Instalasi Penelitian (Hardian,2017)

Hasil studi eksperimen ini diperoleh bahwa penempatan jarak *inlet disturbance body* efektif untuk proses *recovery* aliran dan menanggulangi timbulnya *secondary flow*. Penempatan *inlet disturbance body* pada saluran dengan jarak $0,1D_h$ merupakan jarak paling efektif untuk meningkatkan intensitas turbulensi dan menurunkan *pressure drop*. Secara fungsi Reynolds Number, jarak *inlet disturbance body* $0,1D_h$ memiliki nilai *koefisien losses elbow* 90° paling rendah



Gambar 2.21 *Pressure drop* pada square duct dengan square elbow 90° dengan variasi Reynolds Number $3,97 \times 10^4 < Re_{D_h} < 13,5 \times 10^4$ dan variasi jarak *inlet disturbance body* $0,1D_h - 0,5D_h$ (Hardian, 2017)

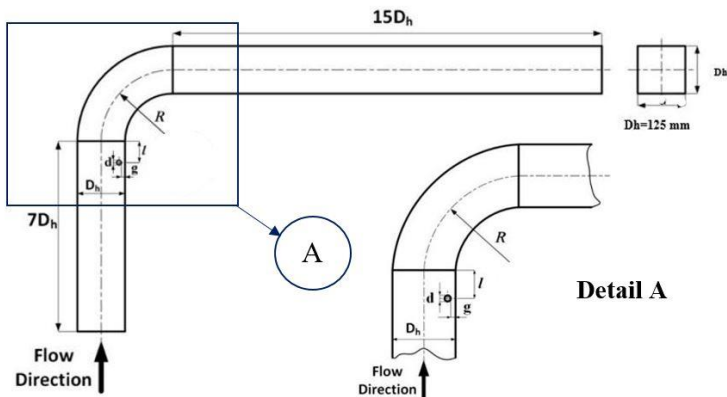
Dari grafik gambar 2.20 dapat dilihat bahwa dengan adanya *inlet disturbance body* sebagai bodi pengganggu menghasilkan nilai *pressure drop* yang lebih rendah dan lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa menggunakan *inlet disturbance body*, dimana nilai *pressure drop* akan meningkat secara signifikan seiring dengan meningkatnya *Reynolds Number* pada setiap variasi jarak *inlet disturbance body*. Secara fungsi *Reynolds Number*, jarak *inlet disturbance body* $0,1D_h$ memiliki nilai koefisien losses elbow 90° paling rendah .



Gambar 2.22 Koefisien *Losses Elbow 90°* pada *Square Duct* dengan *Square Elbow 90°* dengan variasi *Reynolds Number* $3,97 \times 10^4 < Re_{Dh} < 13,5 \times 10^4$ dan variasi jarak *inlet disturbance body* $0,1D_h - 0,5D_h$ (Hardian, 2017)

Dari gambar 2.21 dapat dilihat bahwa semakin meningkatnya *Reynolds number* maka akan semakin meningkat pula nilai koefisien losses elbow 90° yang terjadi pada masing-masing pada masing-masing jarak peletakan *inlet disturbance body*. Sehingga dapat dikatakan jika kecepatan dari suatu fluida meningkat, maka koefisien losses elbow 90° akan meningkat.

Rizkia Putra P. (2017) , melakukan penelitian dengan cara eksperimen dengan model saluran yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu *square duct* dengan diameter (D_h) sebesar 125 mm. Saluran udara terdiri dari *upstream duct* sepanjang $7D_h$, IDB dengan diameter sebesar 12,5 mm, *elbow 90°* dengan rasio kelengkungan (R/D_h) sebesar 1,5, *downstream duct* sepanjang $15D_h$, dan *centrifugal fan*. Pengukuran parameter menggunakan *pitot static tube*, manometer, dan *pressure transducer*. IDB diletakkan pada jarak (l/D_h) sebesar 0,1 dari *inlet elbow 90°* dengan variasi gap (g/d) sebesar 0,1 sampai 0,5. Untuk mendapatkan profil kecepatan dan intensitas turbulensi *downstream duct* pada posisi vertikal dan horizontal, pengujian dilakukan pada bilangan Reynolds (Re_{D_h}) $8,74 \times 10^4$. Untuk mendapatkan *pressure coefficient elbow 90°*, pengujian dilakukan pada bilangan Reynolds (Re_{D_h}) $3,97 \times 10^4$, $8,74 \times 10^4$, dan $1,35 \times 10^5$. Untuk mendapatkan *pressure drop square duct* dan *loss coefficient elbow 90°*, pengujian dilakukan pada Re_{D_h} sebesar $4,09 \times 10^4 \leq Re_{D_h} \leq 1,39 \times 10^5$ atau kecepatan udara 5 m/s sampai 17 m/s dengan kenaikan kecepatan 1 m/s.

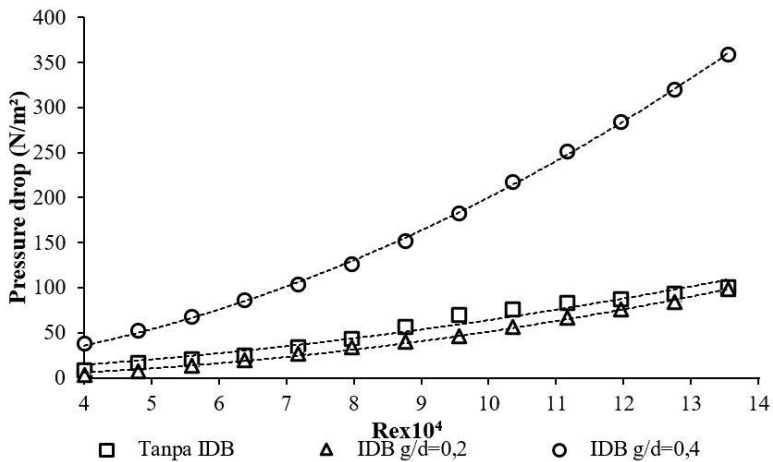


Gambar 2.23 Sketsa *test section* (pandangan atas)
(Pratama,2017)

Spesifikasi dari *square duct* sebagai berikut:

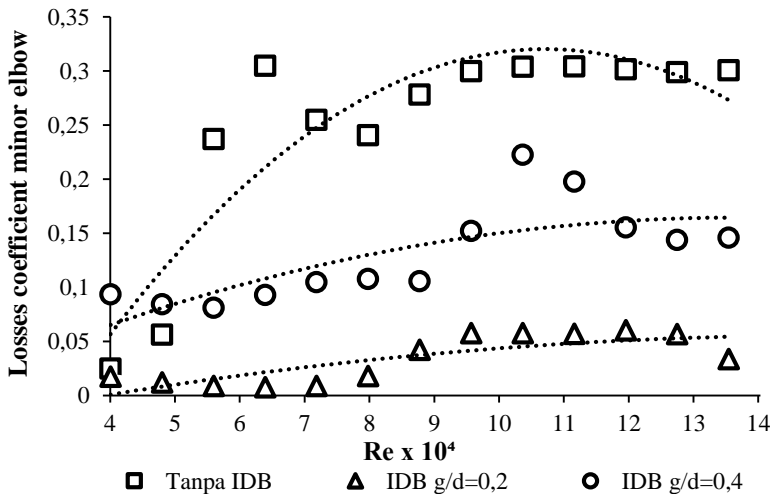
- Bentuk penampang : Persegi
- Bahan : Akrilik
- Tebal : 8 mm
- L_m (panjang total garis tengah streamline elbow 90°) : 2973,12 mm
- L_i (upstream duct) : 750 mm
- L_o (downstream duct) : 2125 mm
- R (centerline elbow 90° radius) : 187,5 mm
- D_h (diameter hidrolis) : 125 mm
- l (jarak inlet disturbance body dari inlet elbow 90°): 37,5 mm

Hasil penelitian diperoleh bahwa penambahan IDB $g/d=0,2$ dapat menurunkan *pressure drop* sebesar 20,52%, sedangkan $g/d=0,4$ dapat meningkatkan *pressure drop*.



Gambar 2.24 *Pressure drop square duct* dengan variasi peletakkan inlet disturbance body dan Re_{Dh} $3,97 \times 10^4$ sampai $1,35 \times 10^5$ (Pratama, 2017)

Pada gambar 2.23 dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan Δp seiring dengan meningkatnya Re_{Dh} . Peningkatan optimum Δp pada $g/d=0,2$ dan peningkatan signifikan pada $g/d=0,4$ terhadap instalasi tanpa IDB. Pada $g/d=0,2$ terjadi peningkatan gap Δp paling besar terhadap instalasi tanpa IDB pada Re_{Dh} $8,74 \times 10^4$. Sedangkan pada $g/d=0,4$ terjadi kenaikan Δp signifikan mulai Re_{Dh} $7,95 \times 10^4$ sampai $1,35 \times 10^5$. Dengan adanya *elbow 90°* pada instalasi menyebabkan terjadinya gesekan, separasi aliran, dan aliran sekunder menyebabkan bidang alir fluida akan berkurang. Separasi aliran terjadi aliran yang tidak mampu melawan *advers pressure* pada sisi *inner wall*, sedangkan aliran sekunder terjadi karena adanya perbedaan besar kelengkungan radius *inner* dan *outer elbow 90°*. Sedangkan untuk *Loss coefficient* terkecil pada variasi IDB $g/d=0,2$ dan terbesar pada variasi IDB $g/d=0,4$.



Gambar 2.25 *Loss coefficient elbow 90°* dengan variasi peletakkan *inlet disturbance body* dan Re_{Dh} $3,97 \times 10^4$, $8,74 \times 10^4$, dan $1,35 \times 10^5$ (Pratama, 2017)

Pada gambar 2.24 dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan K seiring dengan meningkatnya Re_{Dh} . Penambahan IDB terbukti dapat menurunkan nilai K . Pada variasi tanpa IDB terjadi penurunan K mulai dari Re_{Dh} $6,36 \times 10^4$ sampai $7,95 \times 10^4$ dan peningkatan signifikan mulai dari Re_{Dh} $4,77 \times 10^4$ sampai $6,36 \times 10^4$. Pada variasi $g/d=0,2$ terjadi penurunan K mulai dari Re_{Dh} $3,96 \times 10^4$ sampai $6,36 \times 10^4$ dan dari $1,27 \times 10^5$ sampai $1,35 \times 10^5$. Pada variasi $g/d=0,4$ terjadi penurunan K pada Re_{Dh} $3,97 \times 10^4$ sampai $5,56 \times 10^4$ dan $1,03 \times 10^5$ sampai $1,19 \times 10^5$. *Headloss minor elbow 90°* dipengaruhi oleh nilai Δp dan kecepatan aliran fluida. Peningkatan K disebabkan oleh nilai Δp yang besar dibandingkan kenaikan kecepatan aliran fluida. Sedangkan penurunan K disebabkan oleh nilai Δp yang konstan dibandingkan kenaikan kecepatan aliran fluida.

” Halaman ini sengaja dikosongkan “

BAB III

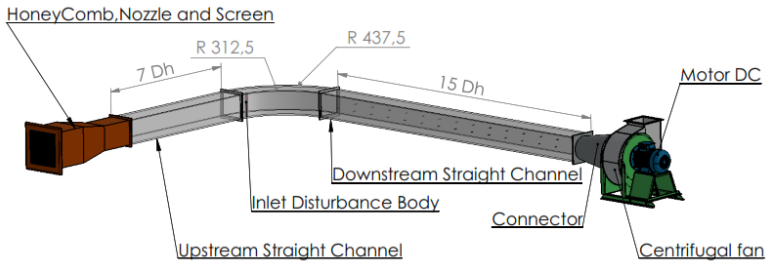
METODE PENELITIAN

Pada bab ini dibahas metode penelitian yang digunakan, yaitu metode penelitian secara eksperimen untuk menganalisis karakteristik aliran dalam *square ducting* dan *square elbow 90°* dengan variasi peletakan *Inlet Disturbance Body* 5°, 10°, 15°, dan 20° pada sisi *inner elbow 90°*.

Studi eksperimen ini menggunakan sebuah *Inlet Disturbance Body* (IDB) berbentuk silinder sirkuler dengan diameter hidrolis 12,5 mm dengan rasio kelengkungan (R/Dh) pada *elbow 90°* sebesar 3. *Reynolds Number* yang digunakan untuk mendapatkan nilai *pressure drop* dan koefisien *loss minor elbow 90°* adalah $1,4 \times 10^4$ sampai $10,3 \times 10^4$ (kecepatan udara 2 m/s sampai 12 m/s dengan kenaikan kecepatan 1 m/s), untuk mendapatkan nilai *coefficient pressure* pada *elbow 90°* digunakan kecepatan 4 m/s, 8 m/s, dan 12 m/s dengan *Reynolds Number* $3,1 \times 10^4$; $6,3 \times 10^4$; dan $9,5 \times 10^4$, sedangkan untuk mendapatkan profil kecepatan dan intensitas turbulensi digunakan kecepatan 6 m/s dengan *Reynolds Number* $4,7 \times 10^4$.

3.1 Skema Penelitian

Penelitian ini menggunakan saluran yang berpenampang bujur sangkar (*square duct*). Gambar 3.1 menunjukkan instalasi benda uji (*test section*) dan peralatan pendukung seperti *honey comb*, *square duct*, *square elbow 90°*, *centrifugal fan* dan *connector*. *Inlet Disturbance Body* (IDB) diletakkan pada sisi *inner elbow 90°* dengan variasi peletakan IDB 5° sampai 20°.



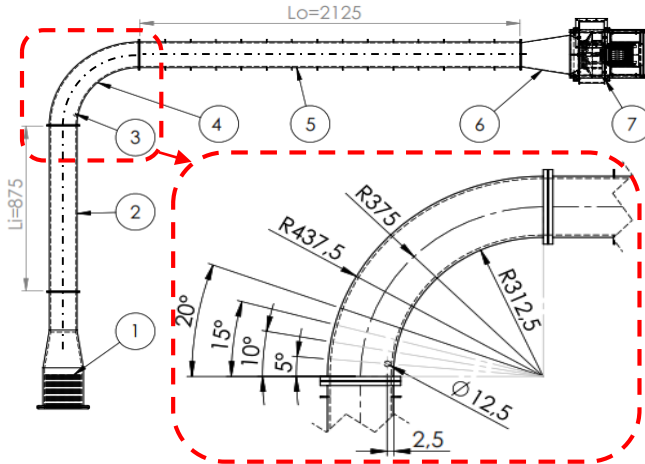
Gambar 3.1 Skema instalasi penelitian dan gambar detail dari peletakan *Inlet Disturbance Body*

3.2 Peralatan Pendukung

Peralatan pendukung yang digunakan dalam penelitian, yaitu *honey comb*, *nozzle*, *square duct*, *inlet dicturbance body*, *centrifugal fan*, dan alat ukur.

3.2.1 *Square Duct*

Pada penelitian ini menggunakan *square duct* dengan jenis *open circuit*, udara yang masuk melalui *honey comb* akan dialirkan ke dalam instalasi *square duct* dan dikeluarkan melalui *centrifugal fan*. *Square duct* terdiri dari *upstream duct*, *elbow 90°* , dan *downstream duct*. Pada penelitian ini digunakan instalasi dengan skala model karena membuat instalasi dengan skala sebenarnya cukup sulit dan membutuhkan biaya yang lebih besar. Pembuatan *square duct* dan *elbow 90°* dengan kondisi-kondisi yang mendekati kenyataan agar mendapatkan hasil yang cukup memadai dan akurat. Gambar 3.2 menunjukkan penampakan asli dari instalasi saluran udara beserta peralatan pendukung yang digunakan dalam penelitian.



Gambar 3.2 Model uji penelitian

- Keterangan :
1. *Nozzle*
 2. *Upstream Straight Duct*
 3. *Inlet Disturbance Body*
 4. *Square Elbow 90°*
 5. *Downstream Straight Duct*
 6. *Connector*
 7. *Centrifugal Fan*

Spesifikasi *Square Ducting* :

- Bentuk Penampang : *Square duct & elbow 90°*
- Bahan : *Acrylic*
- Tebal : 8 mm
- L_i (*upstream straight duct*) : 875 mm
- L_o (*downstream straight duct*) : 2125 mm
- L_m (*panjang total garis tengah*) : 3250 mm
- l_i (*panjang total inner*) : 3187,5 mm
- l_o (*panjang total outer 90°*) : 3312,5 mm
- R (*centerline elbow 90° radius*) : 375 mm
- r_i (*inner elbow 90° radius*) : 312,5 mm
- r_o (*outer elbow 90° radius*) : 437,5 mm

- D_h (diameter hidrolik) : 125 mm
- l (jarak IDB dari *inlet elbow* 90°): 5°, 10°, 15°, dan 20°
- g (*gap cylinder disturbance* dari dinding *inner*) : 2,5 mm

3.2.2 Centrifugal Fan

Centrifugal fan digunakan untuk mengalirkan udara pada saluran udara. Alat ini dipilih karena bisa mengalirkan udara dengan kecepatan yang rendah. Gambar 3.3 merupakan penampakan asli *Centrifugal fan* yang disambungkan dengan *inverter* yang berfungsi untuk mengubah kecepatan yang disesuaikan dari kapasitas frekuensi *inverter* itu sendiri. Spesifikasi dari *centrifugal fan* sebagai berikut:

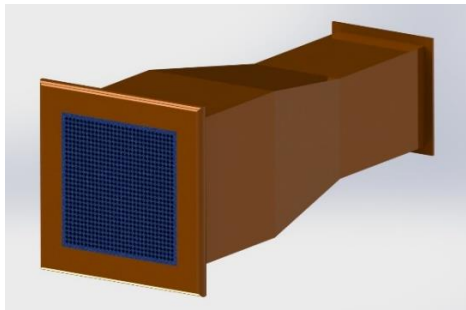


Gambar 3.3 *Centrifugal Fan*

- Merk : *Vanco Direct Centrifugal Fan*
- *Type* : VDC/4-225
- Voltage : 220 / 380 Volt
- Frekuensi : 50 Hz
- Daya : 0,75 kW
- Putaran : 1440 rpm
- *Max. Air Volume* : 2550 m³/h
- Sound Power : 86 dB

3.2.3 *Honey Comb, Screen, dan Nozzle*

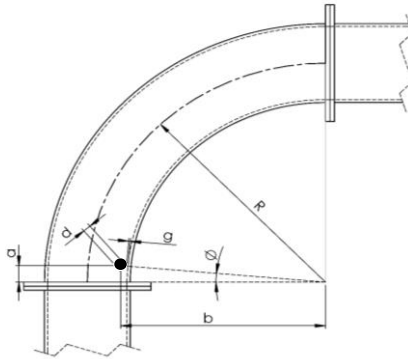
Pada rangkaian *nozzle* terdapat *screen* dan *honey comb*. Peletakkan rangkaian sebelum *inlet upstream duct*. *Nozzle* berfungsi sebagai penambah kecepatan aliran sebelum memasuki *upstream duct*. *Screen* dan *honey comb* berfungsi sebagai pembentuk profil aliran *uniform* dan pengurang turbulensi aliran ketika memasuki *upstream duct*. Gambar 3.4 merupakan penampakan asli dari *Honey Comb, Screen dan Nozzle*



Gambar 3.4 *Honey Comb, Screen, Nozzle*

3.2.4 *Inlet Disturbance Body*

Inlet disturbance body merupakan bodi pengganggu yang diletakkan didalam *inner elbow 90°* dengan jarak 5°, 10°, 15°, dan 20° dan gap 2,5 mm. Gambar 3.4 menunjukkan pemasangan *inlet disturbance body* pada variasi jarak 5°, 10°, 15°, dan 20° dan gap 2,5 mm didalam *inner elbow 90°*. *Inlet disturbance body* memiliki diameter sebesar 12,5 mm dan tinggi sebesar 125 mm.



Gambar 3.5 Lokasi pemasangan *Inlet Disturbance Body* serta konfigurasi parameter yang mempengaruhi karakteristik aliran sepanjang *downstream straight duct*

3.2.5 Alat Ukur

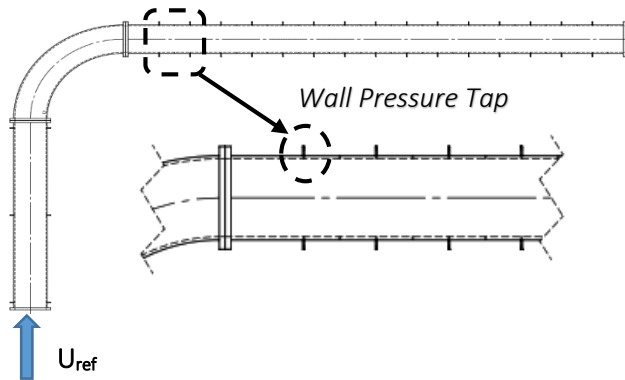
Pada penelitian ini dibutuhkan alat ukur untuk mendapatkan tekanan statis dan tekanan stagnasi, diantaranya adalah *wall-pressure tap*, *pitot static tube*, *transducer* dan *manometer inclined*.

3.2.5.1 Pitot Tube

Alat ini berfungsi untuk mengukur besarnya tekanan statis sekaligus tekanan stagnasi aliran fluida yang terdapat pada saluran maupun yang terletak dibelakang benda uji. Pergeseran titik pengukuran secara *horizontal* pada setiap *cross section* yang sama dilakukan secara manual dengan skala pengukuran tertentu.

3.2.5.2 Wall Pressure Tap

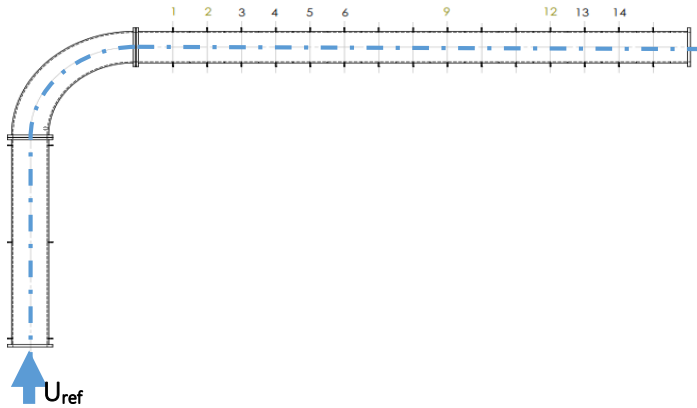
Wall-pressure tap yaitu lubang-lubang kecil berdiameter 1 mm yang terhubung pada manometer atau transducer tekanan serta dipasang sepanjang kontur permukaan benda uji maupun saluran yang searah aliran dan tegak lurus terhadap permukaan.



Gambar 3.6 Skema pemasangan *wall pressure tap*

Posisi pemasangan *wall pressure tap* pada benda uji secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 3.6. *Wall pressure tap* dipasang sepanjang *downstream straight duct* mulai dari *outlet elbow 90°* pada setiap dinding ducting yang disusun secara paralel pada masing-masing *test section* yang berjarak 125 mm. Titik pengukuran tekanan statis dimulai pada titik yang berjarak 1250 mm dari *inlet upstream* sampai pada titik yang berjarak 3250 mm dari *inlet upstream*. Sedangkan *stagnation pitot tube* dipasang pada *centerline* tepat sejajar dengan *wall pressure tap*, dimana jarak antar *tap* adalah 125 mm.

Jumlah *wall pressure tap* disesuaikan dengan kondisi tekanan pada setiap section. Pada bagian *downstream straight duct* dipasang 15 *wall pressure tap*. Untuk mengetahui profil kecepatan aliran, maka *test section* dibagi menjadi 15 section yang akan dijadikan posisi peletakan *pitot tube*. Pada gambar 3.7 ditunjukkan beberapa lokasi yang akan diteliti untuk mendapatkan profil kecepatan.



Gambar 3.7 Lokasi perhitungan untuk profil kecepatan

3.2.5.3 Transducer Tekanan dan Data Aquisisi

Berikut spesifikasi *Transducer* yang akan digunakan dalam percobaan ini :

1. Untuk mengukur *Coefficien of Pressure, Velocity Profile, Turbulence Intensity* :

Model : PX653 - 01D5L
 Range : $\pm 1''$ WC
 Akurasi : 0.25 % FS (Fullscale)
 Output : 1 – 5 VDC
 Excitation : 12 – 36 VDC
 Ser.no. : X14500102

2. Untuk mengukur *pressure drop* dan *Coefficient Losses Elbow* :

Model : PX653 - 03D5V
 Range : $\pm 3''$ WC
 Akurasi : 0.25 % FS (Fullscale)
 Output : 1 – 5 VDC
 Excitation : 12 – 36 VDC
 Ser.no. : X11450113

3.2.5.4 *Inclined manometer (Manometer V) dan Mistar*

Manometer digunakan sebagai pembaca tekanan yang terukur melalui *wall pressure tap* dan *pitot tube*. *Manometer* yang digunakan mempunyai kemiringan sebesar 15° yang bertujuan untuk mempermudah pembacaan Δh . *Manometer* digunakan sebagai pembaca tekanan statis dan stagnasi yang terukur melalui *wall pressure tap* dan *pitot tube* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 *Inclined Manometer*

Spesifikasi manometer yang digunakan sebagai berikut:

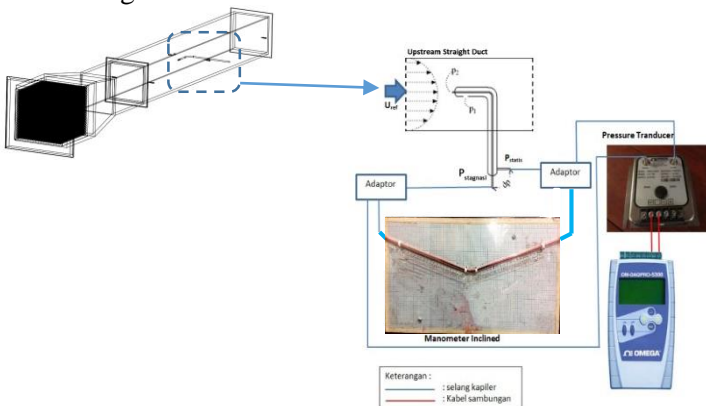
- Skala minimum : 1 mm
- Fluida kerja : *Kerosene* ($SG_{\text{kerosene}} = 0,827$)
- Kemiringan : 15°
-

3.3 Langkah-Langkah Validasi

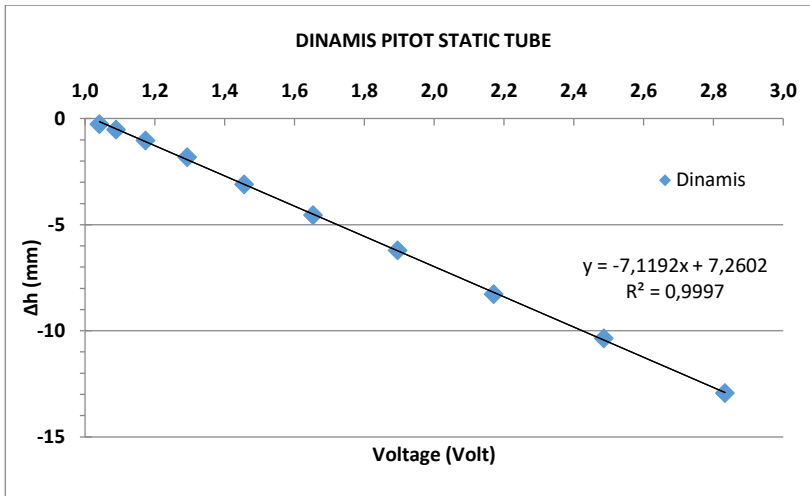
Validasi dilakukan pada pengambilan data tekanan statis dan dinamis. Peralatan yang digunakan, yaitu *inclined manometer*, *pressure transducer 1" WC* (untuk mengukur *coefficient pressure*, *Velocity Profile*, dan *Turbulence Intensity*), *pressure transducer 3" WC* (untuk mengukur *pressure drop* dan koefisien *loss minor elbow*), data aqisisi DAQ PRO 5300, dan *pitot static tube*. Langkah-langkah validasi yang dilakukan sebelum pengambilan data pada penelitian sebagai berikut:

3.3.1 Validasi Tekanan Dinamis

1. Pemasangan instalasi untuk keadaan *free stream* tanpa dipasang *inlet disturbance body*.
2. *Pitot static tube* dipasang pada dinding saluran udara yang tersambung pada *manometer* dan *transducer*.
3. Pengaturan *inverter* dari 0 – 50 Hz dengan *interval* 5 Hz.
4. Diambil data *manometer* dan *pressure transducer* 1'' WC untuk tekanan dinamik.
5. Dari *manometer* didapatkan Δh (mm) dan dari data aquisisi didapatkan *Voltage* (Volt).
6. Data-data tersebut dibuat grafik Δh *manometer* vs *voltage* (Volt) sehingga diketahui juga hubungan dengan sebuah formula.



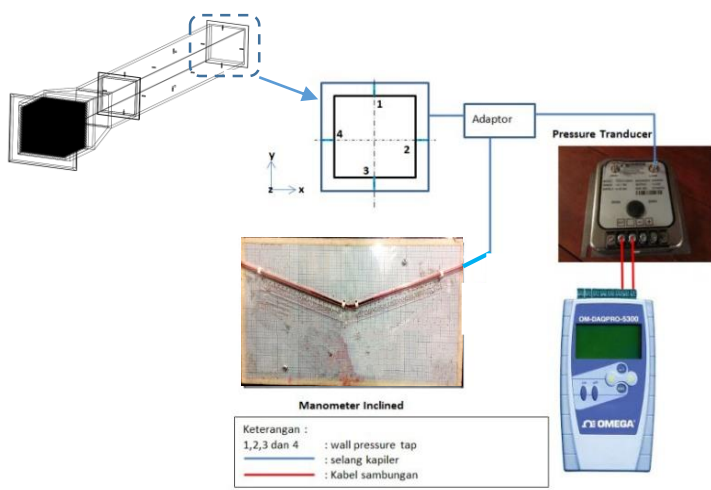
Gambar 3.9 Skema validasi tekanan dinamis *pressure transducer* 1'' WC



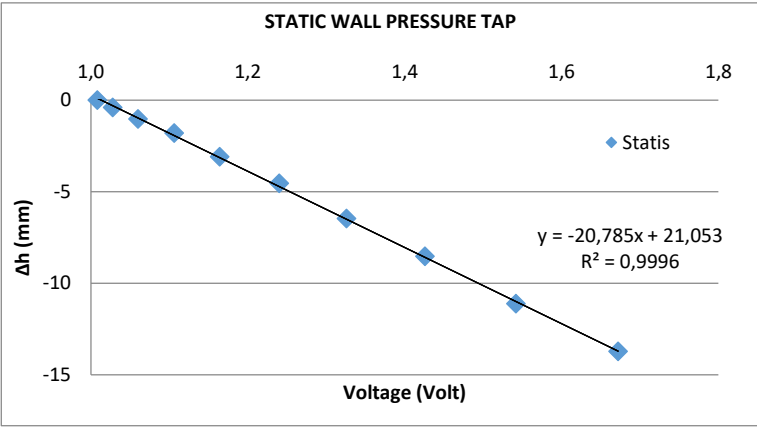
Gambar 3.10 Contoh hasil validasi tekanan dinamis
pressure transduser 1" WC

3.3.2 Validasi Tekanan Statis

1. Pemasangan instalasi untuk keadaan *free stream* tanpa dipasang *inlet disturbance body*.
2. *Wall pressure tap* pada *inlet upstream* dihubungkan pada *manometer* dan *transducer*.
3. Pengaturan *inverter* dari 0 – 50 Hz dengan interval 5 Hz.
4. Diambil data *manometer* dan *pressure transduser 3" WC* untuk tekanan statis dinding.
5. Dari *manometer* didapatkan Δh (mm) dan dari data aqisisi didapatkan *Voltage (Volt)*.
6. Data-data tersebut dibuat grafik Δh *manometer* vs *voltage (Volt)* sehingga diketahui juga hubungan dengan sebuah formula.



Gambar 3.11 Skema validasi tekanan statis *pressure transduser 3'' WC*



Gambar 3.12 Contoh hasil validasi tekanan statis

3.4 Analisa Dimensi Parameter - Parameter yang Dianalisa

Analisa dimensi diperlukan untuk mengetahui apakah suatu parameter berpengaruh terhadap suatu eksperimen. Hubungan antara parameter yang saling mempengaruhi ditunjukkan dalam bentuk parameter-parameter tanpa dimensi. Metode analisa ini dikenal dengan *Buckingham Pi Theorem*. Pada gambar 3.5 merupakan konfigurasi dari parameter-parameter yang mempengaruhi karakteristik aliran sepanjang *downstream straight duct*.

- Δp : Perbedaan tekanan statis lokal dan referensi (N/m^2)
- ρ : Massa jenis fluida (kg/m^3)
- μ : Viskositas absolut fluida (kg/m.s)
- U_{ref} : Kecepatan *freestream* di *inlet upstream straight duct* (m/s)
- u : Kecepatan local (m/s)
- D_h : Diameter hidrolik saluran (m)
- a : Jarak antara titik sumbu IDB dari *inlet elbow 90°* (m)
- b : Jarak antara titik sumbu IDB dari *center radius* (m)
- R : *Centerline elbow 90° radius* (m)
- g : *Gap cylinder disturbance* dari dinding *inner* (m)
- y : Aliran searah sumbu koordinat y
- z : Aliran searah sumbu koordinat z
- x : Aliran searah sumbu koordinat x

3.4.1 Analisa Grup Tak Berdimensi untuk *Pressure Drop* pada *Square Ducting*

Pressure drop pada *square ducting* diduga dipengaruhi oleh beberapa parameter, sehingga perbedaan tekanan dapat dituliskan sebagai fungsi parameter-parameter tersebut. Secara matematik dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\Delta p = f(\rho, \mu, U_{ref}, D_h, d, a, b, R, g, x, y, z,) \quad (3.1)$$

dimana ΔP adalah perbedaan tekanan (N/m^2)

Menggunakan *Buckingham Pi-theorema* dengan parameter ρ, U_{ref} dan D_h diperoleh 10 grup tak dimensi yaitu :

1. $\pi_1 = \frac{\Delta P}{\rho U_{ref}^2}$: koefisien tekanan
2. $\pi_2 = \frac{\mu}{\rho U_{ref} D_h}$: bilangan *Reynolds*
3. $\pi_3 = \frac{d}{D_h}$: perbandingan diameter *disturbance body* dengan diameter hidrolik
4. $\pi_4 = \frac{a}{D_h}$: perbandingan jarak antara titik sumbu IDB dari *inlet elbow 90°* dengan diameter hidrolik
5. $\pi_5 = \frac{b}{D_h}$: perbandingan jarak antara titik sumbu IDB dari *center radius* dengan diameter hidrolik
6. $\pi_6 = \frac{R}{D_h}$: perbandingan *mean radius elbow 90°* dengan diameter hidrolik
7. $\pi_7 = \frac{g}{D_h}$: perbandingan *gap cylinder disturbance* dari dinding sisi *inner upstream* dengan diameter hidrolik
8. $\pi_8 = \frac{x}{D_h}$: perbandingan *arah aliran sumbu x* dengan diameter hidrolik
9. $\pi_9 = \frac{y}{D_h}$: perbandingan *arah aliran sumbu y* dengan diameter hidrolik
10. $\pi_{10} = \frac{z}{D_h}$: perbandingan *arah aliran sumbu z* dengan diameter hidrolik

Hubungan antar grup tak berdimensi adalah sebagai berikut :

- $\Pi_1 = f(\Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_6, \Pi_7, \Pi_8, \Pi_9, \Pi_{10})$ (3.2)

- $\frac{\Delta p}{\rho U_{ref}^2} = f\left(\frac{\mu}{\rho U_{ref} D_h}, \frac{d}{D_h}, \frac{a}{D_h}, \frac{b}{D_h}, \frac{R}{D_h}, \frac{g}{D_h}, \frac{x}{D_h}, \frac{y}{D_h}, \frac{z}{D_h}\right)$ (3.3)

Pada penelitian ini yang menjadi variabel tetap adalah

$\frac{d}{D_h}, \frac{R}{D_h}, \frac{g}{D_h}, \frac{x}{D_h}, \frac{y}{D_h}, \frac{z}{D_h}$ sehingga

$$\frac{\Delta p}{\rho U_{ref}^2} = f_1 \left(\frac{\mu}{\rho U_{ref} D_h}, \frac{a}{D_h}, \frac{b}{D_h} \right) \quad (3.4)$$

Parameter a dan b memiliki hubungan tangensial dengan sudut \emptyset sehingga persamaanya menjadi :

$$\frac{\Delta p}{\rho U_{ref}^2} = f_2 \left(\frac{\mu}{\rho U_{ref} D_h}, \frac{a}{b} \right) = f_2 \left(\frac{\mu}{\rho U_{ref} D_h}, \emptyset \right) \quad (3.5)$$

dan untuk *pressure drop* tak berdimensi ($\frac{\Delta p}{\rho U_{ref}^2}$) pada *square ducting* adalah sebagai berikut :

$$\frac{\Delta p}{\rho U_{ref}^2} = f_3 (Re_{D_h}, \emptyset) \quad (3.6)$$

3.4.2 Analisa Grup Tak Berdimensi untuk kecepatan pada *Square Ducting*

Velocity profile pada *square ducting* diduga dipengaruhi oleh beberapa parameter, sehingga kecepatan dapat dituliskan sebagai fungsi parameter-parameter tersebut. Secara matematik dapat dituliskan sebagai berikut :

$$u = f (\rho, \mu, U_{ref}, D_h, d, a, b, R, g, x, y, z,) \quad (3.7)$$

dimana u adalah kecepatan lokal (m/s)

Menggunakan *Buckingham Pi-theorema* dengan parameter ρ, U_{ref} dan D_h diperoleh 10 grup tak dimensi yaitu :

1. $\pi_1 = \frac{\Delta P}{\rho U_{ref}^2}$: koefisien tekanan
2. $\pi_2 = \frac{\mu}{\rho U_{ref} D_h}$: bilangan *Reynolds*
3. $\pi_3 = \frac{d}{D_h}$: perbandingan diameter *disturbance body* dengan diameter hidrolik

4. $\pi_4 = \frac{a}{D_h}$: perbandingan jarak antara titik sumbu IDB dari *inlet elbow 90°* dengan diameter hidrolik
5. $\pi_5 = \frac{b}{D_h}$: perbandingan jarak antara titik sumbu IDB dari *center radius* dengan diameter hidrolik
6. $\pi_6 = \frac{R}{D_h}$: perbandingan *mean radius elbow 90°* dengan diameter hidrolik
7. $\pi_7 = \frac{g}{D_h}$: perbandingan *gap cylinder disturbance* dari dinding sisi *inner upstream* dengan diameter hidrolik
8. $\pi_8 = \frac{x}{D_h}$: perbandingan *arah aliran sumbu x* dengan diameter hidrolik
9. $\pi_9 = \frac{y}{D_h}$: perbandingan *arah aliran sumbu y* dengan diameter hidrolik
10. $\pi_{10} = \frac{z}{D_h}$: perbandingan *arah aliran sumbu z* dengan diameter hidrolik

Hubungan antar grup tak berdimensi adalah sebagai berikut :

- $\Pi_1 = f(\Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_6, \Pi_7, \Pi_8, \Pi_9, \Pi_{10})$ (3.8)

- $\frac{u}{U_{ref}} = f\left(\frac{\mu}{\rho U_{ref} D_h}, \frac{a}{D_h}, \frac{b}{D_h}, \frac{R}{D_h}, \frac{g}{D_h}, \frac{x}{D_h}, \frac{y}{D_h}, \frac{z}{D_h}\right)$ (3.9)

Pada penelitian ini yang menjadi variabel tetap adalah

$\frac{d}{D_h}, \frac{R}{D_h}, \frac{g}{D_h}, \frac{y}{D_h}, \frac{z}{D_h}$ sehingga

$$\frac{u}{U_{ref}} = f_1\left(\frac{\mu}{\rho U_{ref} D_h}, \frac{a}{D_h}, \frac{b}{D_h}, \frac{x}{D_h}\right) \quad (3.10)$$

Parameter a dan b memiliki hubungan tangensial dengan sudut \emptyset sehingga persamaanya menjadi :

$$\frac{u}{U_{ref}} = f_2\left(\frac{\mu}{\rho \cdot U_{ref} \cdot D_h} \frac{a}{b}, \frac{x}{D_h}\right) = f_2\left(\frac{\mu}{\rho \cdot U_{ref} \cdot D_h}, \emptyset, \frac{x}{D_h}\right) \quad (3.11)$$

dan untuk kecepatan tak berdimensi ($\frac{u}{u_{ref}}$) pada *square*

ducting adalah sebagai berikut:

$$\frac{u}{u_{ref}} = f_3 \left(Re_{Dh}, \frac{a}{b}, \frac{x}{D_h} \right) \quad (3.12)$$

Untuk menghitung profil kecepatan dengan menggunakan *Reynolds number* konstan yaitu $4,7 \times 10^4$.

3.5 Prosedur Pengambilan Data

3.5.1 Pengambilan Data Kuantitatif

Parameter yang diukur pada penelitian ini meliputi tekanan stagnasi dan tekanan statis. Sebelum melakukan pengambilan data maka perlu dilakukan pengukuran suhu ruangan terlebih dahulu. Masing-masing pengukuran memiliki prosedur pengambilan data yang berbeda dan akan dijelaskan sebagai berikut:

- 1) Prosedur pengukuran tekanan dinamis

Prosedur pengukuran tekanan dinamis adalah sebagai berikut:

 - a) *Test section* dipersiapkan.
 - b) *Pitot tube* dipasang pada posisi yang ingin diukur.
 - c) *Pitot tube* dihubungkan dengan *pressure transducer* dengan menggunakan selang kapiler. *pressure transducer 3" WC*
 - d) Frekuensi inverter diatur untuk mendapatkan putaran *blower* yang sesuai kebutuhan.
 - e) *Voltage* dari *pressure transducer* pada tekanan stagnasi pada dicatat.
 - f) *Blower* dimatikan
 - g) Langkah d sampai f diulangi sampai titik tekanan stagnasi terakhir yang telah ditentukan sebelumnya.
- 2) Prosedur pengukuran tekanan statis adalah sebagai berikut:
 - a) *Test section* dipersiapkan.
 - b) *Wall pressure tap* dihubungkan ke *pressure transducer* dengan selang kapiler.

- c) Frekuensi inverter diatur untuk mendapatkan putaran *blower* yang sesuai kebutuhan.
- d) Data *voltage* dari *pressure transducer* dicatat.
- e) Selang kapiler *pressure transducer* dilepas dari *wall pressure tap* pertama kemudian dihubungkan dengan selang kapiler untuk *wall pressure tap* pada titik *section* selanjutnya.
- f) Langkah c) sampai e) diulangi sampai didapatkan data pada posisi *pressure tap* yang terakhir pada posisi $15D_h$ dari *inlet downstream straight duct*.

3.5.2 Pengolahan Data Kuantitatif

Pengolahan data dilakukan dengan membuat sebuah contoh perhitungan. Beberapa data awal yang diperlukan untuk melakukan proses perhitungan adalah:

- Diameter hidrolik (D_h) : 125 mm
- Panjang *downstream straight duct* : 2000 mm
- Panjang *inlet upstream* sampai *downstream*
 - inner wall* (l_i) : 3187,5 mm
 - Outer wall* (l_o) : 3312,5 mm
- Sudut *inclined manometer* (θ) : 15°
- *Specific Gravity kerosene* ($SG_{kerosene}$) : 0,827
- Percepatan Gravitasi (g) : $9,81 \text{ m/s}^2$
- Temperatur ruangan dianggap konstan (T): 28°C
- Massa jenis udara pada $T = 28^\circ\text{C}$ (ρ_{ud}) : $1,182 \text{ kg/m}^3$
- Viskositas kinematis udara pada (ν) : $1,59 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
- Massa jenis air pada $T = 28^\circ\text{C}$ (ρ_{H_2O}) : $996,4 \text{ kg/m}^3$

1) Perhitungan untuk *Reynolds Number*

Pada eksperimen ini digunakan angka *Reynolds* yang didapat melalui persamaan 3.12 didapatkan kecepatan awal *centrifugal fan* diatur pada *Reynolds Number* $1,461 \times 10^4$

$$Re_{Dh} = \frac{\rho_{ud} \cdot U_{ref} \cdot D_h}{\mu} = \frac{U_{ref} \cdot D_h}{\nu} \quad (3.13)$$

dimana: ρ_{ud} : massa jenis udara pada 28°C (kg/m³)
 ν : viskositas kinematis udara pada (m²/s)
 μ : viskositas absolut udara pada
 U_{ref} : kecepatan freestream pada *inlet*
upstream straight duct (m/s)
 D_h : diameter hidrolik ducting (m)
 Re_{Dh} : *Reynolds number*

Fan yang digunakan pada eksperimen ini adalah *centrifugal fan*. Untuk mendapatkan kecepatan awal (U_{ref}) sebesar 2 m/s dilakukan pengaturan frekuensi pada inverter secara manual. Dengan kalibrasi validasi tekanan dinamik pada saluran *upstream straight duct* melalui *inclined manometer* untuk pengukuran nilai Δh . Nilai Δh diukur dari frekuensi 0 Hz sampai 50 Hz. Pengukuran kecepatan aliran masuk menggunakan persamaan 3.14 sebagai berikut:

$$P_{dinamis} = \rho_{kerosene} \cdot g \cdot \Delta h \quad (3.14)$$

$$\frac{1}{2} \cdot \rho_{ud} \cdot (U_{ref})^2 = SG_{kerosene} \cdot \rho_{H2O} \cdot g \cdot 2 \cdot \Delta y \cdot \sin 15^\circ$$

$$U_{ref}^2 = \frac{4 \cdot SG_{kerosene} \cdot \rho_{H2O} \cdot g \cdot \Delta y \cdot \sin 15^\circ}{\rho_{udara}}$$

$$U_{ref} = \sqrt{\frac{4 \cdot SG_{kerosene} \cdot \rho_{H2O} \cdot g \cdot \Delta y \sin 15^\circ}{\rho_{udara}}} \quad (3.15)$$

dimana : $P_{dinamis}$: ($P_{stagnasi} - P_{statis}$) tekanan dinamis diukur dengan *pitot tube* (N/m²)
 $P_{kerosene}$: massa jenis *kerosene* pada 28°C (kg/m³)
 ρ_{udara} : massa jenis udara pada 28°C (kg/m³)
 g : percepatan gravitasi (m/s²)
 Δh : perbedaan fluida pada manometer (m)

- U_{ref} : kecepatan freestream pada *inlet upstream* (m/s)
 $SG_{kerosene}$: *Specific Gravity kerosene* pada 28°C
 ρ_{H_2O} : massa jenis air pada 28°C (kg/m³)

2) Perhitungan kecepatan lokal

Profil kecepatan diukur pada 15 test section sepanjang *downstream straight duct* dengan variasi *Inlet Disturbance Body* pada sisi 5°, 10°, 15°, dan 20° di *inner elbow 90°*. Perhitungan profil kecepatan pada setiap *section* sepanjang *downstream straight duct* ditulis sesuai persamaan 3.16 sebagai berikut:

$$u = \sqrt{\frac{2 \cdot (p_o - p_s)}{\rho_{udara}}}$$

Dimana:

- p_o : tekanan stagnasi yang diukur dengan *stagnation pressure tube* (Pa)
 p_s : tekanan statis sejajar dengan *stagnation pressure tube* (Pa)
 ρ_{udara} : massa jenis udara pada T = 28°C
 $p_o - p_s$: tekanan dinamis

3) Perhitungan Koefisien Losses elbow 90° ($K_{elbow\ 90^\circ}$)

Eksperimen ini menggunakan *square duct & square elbow 90°* dengan dipasang sebuah *inlet disturbance body* pada variasi *Inlet Disturbance Body* pada sisi 5°, 10°, 15°, dan 20° di *inner elbow 90°*. Pemasangan *elbow 90°* akan mengakibatkan koefisien losses pada saluran. Koefisien losses elbow 90° adalah nilai konstanta yang menentukan besar kecil *head loss minor* akibat pemasangan sebuah *elbow 90°* pada sebuah saluran udara. Pada eksperimen ini, koefisien losses elbow 90° didapatkan dari data perbedaan

tekanan dari *pressure tap inlet elbow 90°* dan *outlet elbow 90°*.

$$P_{outlet\ elbow\ 90^\circ} - P_{inlet\ elbow\ 90^\circ} = K_{elbow\ 90^\circ} \frac{\bar{V}^2 \times \rho_{udara}}{2} \quad (3.17)$$

$$K_{elbow\ 90^\circ} = \frac{(P_{outlet\ elbow\ 90^\circ} - P_{inlet\ elbow\ 90^\circ}) \times 2}{\bar{V}^2 \times \rho_{udara}} \quad (3.18)$$

Koefisien losses elbow 90° pada penelitian ini akan dilakukan dengan variasi *Reynolds Number* $1,461 \times 10^4$ sampai $10,331 \times 10^4$ (kecepatan udara 2 m/s sampai 12 m/s dengan kenaikan kecepatan 1 m/s) dengan variasi *Inlet Disturbance Body* pada sisi 5° , 10° , 15° , dan 20° di *inner elbow 90°*.

4) Perhitungan Pressure Drop (ΔP)

Pressure drop adalah selisih tekanan *inlet* pada *upstream straight duct* dan tekanan *outlet* pada *downstream straight duct* seperti pada gambar 3.13. Sisi *inner* dan *outer* mempunyai tekanan *inlet* dan *outlet* yang hampir sama. Perhitungan $P_{upstream}$ dan $P_{downstream}$ adalah sebagai berikut :

$$\Delta P = P_{upstream} - P_{downstream}$$

$$\Delta P = (\rho_{kerosene} \cdot g \cdot \Delta h_{upstream}) - (\rho_{kerosene} \cdot g \cdot \Delta h_{downstream})$$

$$\Delta P = (SG_{kerosene} \cdot \rho_{H_2O} \cdot g \cdot \Delta h_{upstream}) - (SG_{kerosene} \cdot \rho_{H_2O} \cdot g \cdot \Delta h_{downstream})$$

Dimana : ΔP : *Pressure Drop* (N/m²)

$P_{upstream}$: Tekanan *inlet* pada
upstream straight duct
(N/m²)

$P_{downstream}$: Tekanan *outlet* pada
downstream straight duct
(N/m²)

5) Perhitungan *Pressure Coefficient* (C_p)

Pada eksperimen ini, perhitungan *pressure coefficient* dilakukan pada *elbow* 90° untuk mengetahui *pressure drop* pada *elbow* 90° , perhitungan C_p dilakukan pada sisi *inner* dan *outer* pada *elbow* 90° tersebut.

$$C_p = \frac{\Delta p}{\frac{1}{2}\rho V^2} \quad (3.20)$$

$$C_p = \frac{P_c - P_\infty}{\frac{1}{2}\rho V^2} \quad (3.21)$$

Dimana : C_p : *Pressure Coefficient*

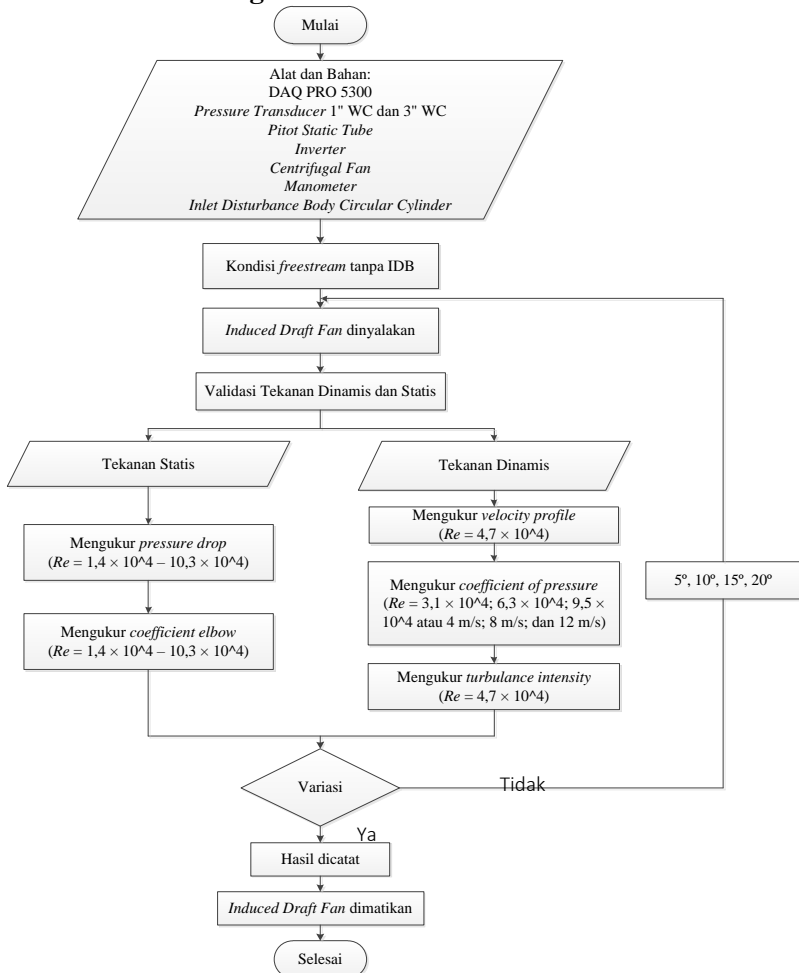
P_c : Tekanan lokal (N/m^2)

P_∞ : Tekanan *freestream* (N/m^2)

ρ : Massa jenis udara (kg/m^3)

V : Kecepatan udara (m/s)

3.6 Flowchart Langkah Penelitian



Gambar 3.13 Flowchart Percobaan


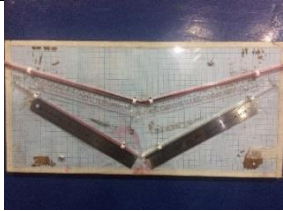

3.7 Gambar Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada tabel 3.1, yaitu DAQ PRO 5300, transducer 1" WC dan 3" WC, inverter, centrifugal fan, pitot static tube, manometer, dan inlet disturbance body.

Tabel 3.1 Peralatan penelitian

No	Nama Alat	Gambar
1	DAQ PRO 5300 0-24 mA: 0-10V max Input: 8 <i>Rate: 100/sample</i> <i>Samples: 1000</i>	 A handheld electronic device with a blue and white casing. The screen displays 'OM-DAQPRO-5300' and various icons. Below the screen are several buttons, including a large 'ESC' button. The Omega logo is visible at the bottom.
2	Pressure transducer 1" WC Model: PX653 - 01D5L Range : ± 1 " WC (<i>Water column</i>) Akurasi: 0.25 % FS (<i>Full scale</i>) Output: 1 – 5 V DC <i>Excitation: 12 – 36 V DC</i> Ser.no.: X14500102	 A rectangular metal pressure transducer with two ports at the top. The label on the front provides technical specifications: 'OMEGA', 'PRESSURE TRANSDUCER', 'RANGE: 1" WC', 'OUTPUT: 1-5VDC', 'SER. NO. X14500102'. It also has 'SPAN' and 'ZERO' adjustment knobs and a 'SWT' switch. Wires are connected to the bottom terminals.

<p>3</p>	<p><i>Pressure transducer 3'' WC</i> Model: PX653 - 03D5V Range: $\pm 3''$ WC (<i>Water column</i>) Akurasi: 0.25 % FS (<i>Full scale</i>) Output: 1 – 5 V DC Excitation: 12 – 36 V DC Ser.no.: X11450113</p>	
<p>4</p>	<p><i>Inverter</i> Model : ATV31HU15M2A U (V~) : -input = 200/240 Ø1 -output = 200/240 Ø3 F (Hz) : -input = 50/60 -output = 0.5/500 I (A) : -input = 15.8 max -output = 8.0</p>	
<p>5</p>	<p><i>Centrifugal fan</i> Merk: Vanco direct Centrifugal Fan Type: VDC/4-225 Voltage: 220 / 380 Voltase Frekuensi: 50 Hz Daya: 0,75 KW Putaran: 1450 RPM Max.Air Volume: 2550 m³/h</p>	

6	<i>Pitot static tube</i>	
7	Manometer Skala minimum: 1 mm Fluida: <i>Kerosene</i> Kemiringan: 15°	
8	<i>Inlet disturbance body</i> Diameter: 12,5 mm Tinggi: 125 mm	

BAB IV

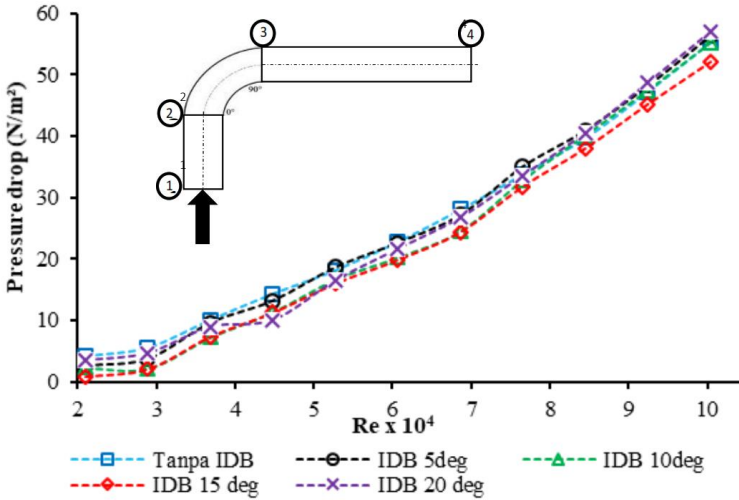
ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab berikut akan ditampilkan dan dibahas hasil studi eksperimen yang sudah didapatkan dari data eksperimen. Penyajian hasil studi eksperimen ditampilkan dalam sub-bab sebagai berikut, yaitu *pressure drop* pada *square duct*, *coefficient loss minor* pada *elbow 90°*, *coefficient pressure* pada *elbow 90°*, dan profil kecepatan pada posisi vertikal dan horizontal dan intensitas turbulensi.

4.1 *Pressure drop* pada *Square Duct* dan *Square Elbow 90°* fungsi *Reynolds Number* dengan Variasi Tanpa *Inlet Disturbance Body* dan *Inlet Disturbance Body 5°-20°* di sisi *inner Elbow 90°*

Pressure drop adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan penurunan tekanan dari satu titik ke titik lain dalam suatu saluran. *Pressure drop* didapat karena adanya gaya gesek atau gaya hambat terhadap fluida ketika mengalir melintasi saluran. Pada eksperimen ini, *pressure drop* didapatkan dari data perbedaan tekanan dari *pressure tap inlet upstream straight duct* dan *pressure tap outlet downstream straight duct* dengan panjang $15D_h$ dari *outlet elbow 90°*.

Gambar 4.1 akan menjelaskan karakteristik *pressure drop* pada *square duct* dan *square elbow 90°* yang mana penjelasan karakteristik ini berupa grafik dari nilai *pressure drop* dengan variasi *Reynolds Number* $1,4 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10,3 \times 10^4$ (kecepatan udara 2 m/s sampai 12 m/s dengan kenaikan kecepatan 1 m/s) dengan variasi tanpa *inlet disturbance body* dan jarak peletakan *inlet disturbance body 5°-20°*.



Gambar 4.1 *Pressure drop pada square duct dan square elbow 90° dengan variasi Reynolds Number $1,4 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10,3 \times 10^4$ dengan variasi tanpa Inlet Disturbance Body dan Inlet Disturbance Body 5°-20° di sisi inner Elbow 90°*

Dari gambar 4.1 dapat dilihat bahwa semakin meningkatnya *Reynolds Number* maka akan semakin meningkat pula *pressure drop* yang terjadi pada masing-masing jarak peletakan *inlet disturbance body*. Sehingga dapat dikatakan jika kecepatan dari suatu fluida meningkat, maka *pressure drop* akan meningkat pula. Hal ini dapat disebabkan oleh *headloss* yang semakin besar, sesuai dengan perumusan sebagai berikut :

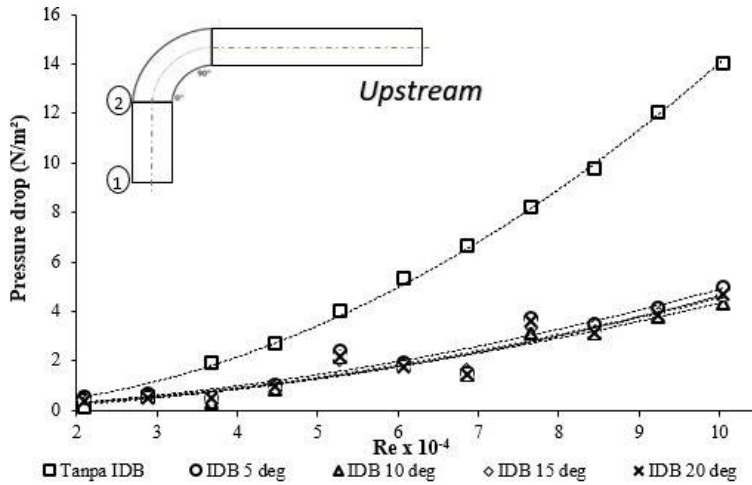
$$\frac{P_{outlet}}{\rho} + \frac{\bar{V}_{outlet}^2}{2} + gZ_{outlet} = \frac{P_{inlet}}{\rho} + \frac{\bar{V}_{inlet}^2}{2} + gZ_{inlet} + h_{lt} \quad (4.1)$$

$$\frac{\Delta P}{\rho} = h_l + h_{lm} \quad (4.2)$$

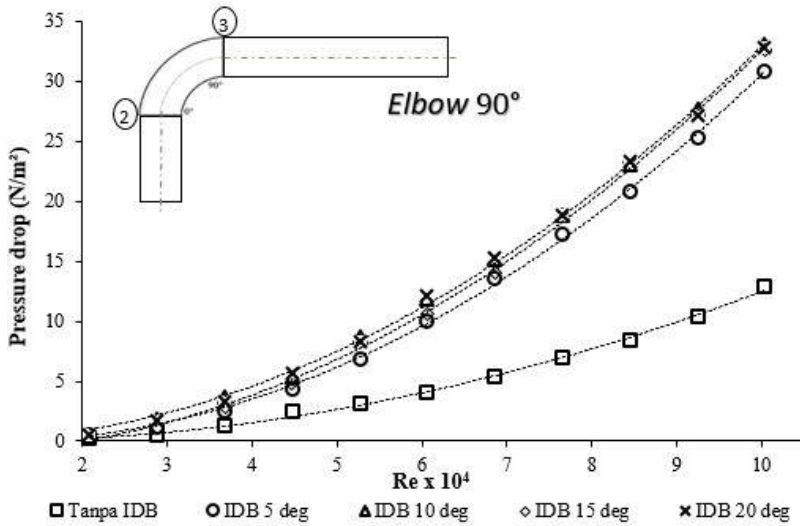
$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{\bar{V}^2}{2} \times \left(f \frac{L_{upstream}}{D_h} + f \frac{L_{downstream}}{D_h} + k_{elbow 90^\circ} \right) \quad (4.3)$$

Selain itu, pada gambar 4.1 menunjukkan *trendline* grafik meningkat mulai dari nilai Re $1,4 \times 10^4$ sampai dengan nilai Re $10,3 \times 10^4$ disemua variasi peletakan IDB. Namun jika dicermati terdapat fenomena lain yaitu dapat dilihat bahwa dengan ditambahkannya *inlet disturbance body* pada sisi *inner elbow* dapat menghasilkan *pressure drop* yang lebih rendah dibandingkan tanpa ditambahkan *inlet disturbance body*. Berdasarkan gambar 4.1, variasi peletakan IDB pada sisi 15° dapat menurunkan nilai *pressure drop*, kemudian untuk variasi peletakan IDB pada sisi 5° hanya dapat menurunkan nilai *pressure drop* sampai *Reynold Numbers* $4,7 \times 10^4$, selanjutnya variasi peletakan IDB pada sisi 10° hanya dapat menurunkan nilai *pressure drop* sampai *Reynold Numbers* $7,1 \times 10^4$ dan variasi peletakan IDB pada sisi 20° hanya dapat menurunkan nilai *pressure drop* sampai *Reynold Numbers* $6,3 \times 10^4$. Berdasarkan hasil tersebut dapat dilihat bahwa variasi peletakan IDB pada sisi 15° memiliki pengaruh yang paling besar dalam menurunkan nilai *pressure drop* sedangkan untuk variasi yang lain hanya efektif menurunkan *pressure drop* pada *Reynold Numbers* yang rendah.

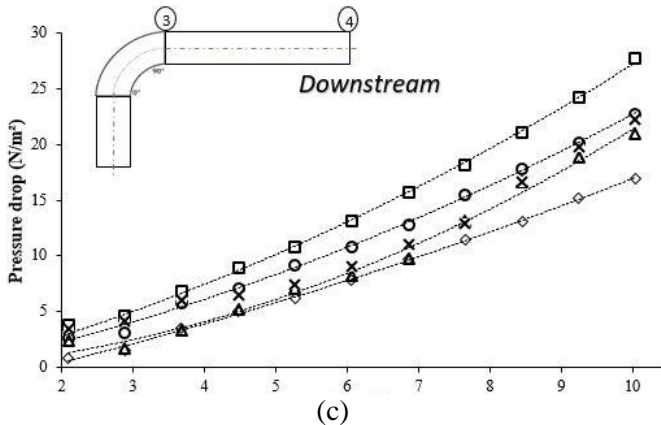
Selanjutnya akan ditampilkan distribusi *pressure drop* secara mikro pada gambar 4.2 dimana untuk gambar 4.2(a) menjelaskan penurunan *pressure drop* pada sisi *upstream duct*, gambar 4.2(b) penurunan *pressure drop* pada sisi *square elbow* 90° , dan gambar 4.2(c) penurunan *pressure drop* pada sisi *downstream duct*.



(a)



(b)



Gambar 4.2 *pressure drop* pada a). Pada sisi *upstream duct* b). Pada sisi *elbow 90°* c). Pada sisi *downstream duct* dengan variasi *Reynolds Numbers* $1,4 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10,3 \times 10^4$

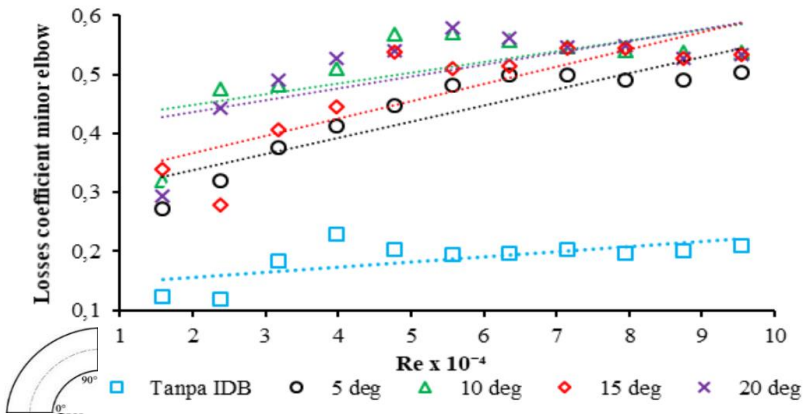
Pada sisi *upstream duct* nilai *pressure drop* yang paling tinggi adalah variasi tanpa IDB, sedangkan untuk yang paling rendah adalah variasi peletakan IDB 15°. Pada posisi ini terlihat jelas bahwa seluruh variasi peletakan IDB memiliki nilai *pressure drop* yang lebih rendah dibandingkan dengan variasi tanpa penambahan IDB. Pada sisi *elbow 90°* berbeda halnya dengan sisi *upstream duct* seluruh variasi peletakan IDB memiliki nilai *pressure drop* yang lebih besar dibandingkan dengan variasi tanpa IDB hal ini dipengaruhi oleh adanya penambahan body pengganggu yang ada pada sisi *inner elbow 90°*. Selanjutnya, untuk sisi *downstream duct* memiliki penurunan yang sama dengan sisi *upstream duct* yaitu seluruh variasi peletakan IDB memiliki nilai *pressure drop* yang lebih rendah dibandingkan dengan variasi tanpa penambahan IDB. Hal ini menunjukkan bahwa peletakan IDB pada sisi *elbow 90°* dan jari-jari kelengkungan *elbow* yang besar hanya berpengaruh menurunkan nilai *pressure drop* pada *Reynold Numbers* yang kecil.

Sehingga dengan adanya *inlet disturbance body* pada saluran, akan mengurangi *pressure drop* dengan memanfaatkan adanya *shear layer* (aliran yang terseparasi) dari *inlet disturbance body* yang memiliki intensitas turbulensi cukup kuat untuk menghasilkan momentum yang kuat sehingga mampu melawan *adverse pressure* pada sisi *inner* dan mengurangi *blockage area*. Sesuai dengan pembahasan paragraf pertama diatas bahwa penambahan *inlet disturbance body* secara signifikan berguna untuk menurunkan nilai *pressure drop*, tetapi hanya pada variasi peletakan IDB 15 ° yang memiliki pengaruh yang signifikan.

4.2 Koefisien *Losses Elbow 90°* pada *Square Duct* dan *Square Elbow 90°* Fungsi *Reynolds Number* dan Variasi Tanpa *Inlet Disturbance Body* dan *Inlet Disturbance Body 5°-20°* di sisi *inner Elbow 90°*.

Koefisien *losses elbow 90°* adalah nilai konstanta yang menentukan besar kecilnya *headloss minor elbow 90°* akibat pemasangan *elbow 90°* itu sendiri dan sebuah *inlet disturbance body*. Pada eksperimen ini, koefisien *losses elbow 90°* didapatkan dari data perbedaan tekanan dari *pressure tap inlet* sebelum *elbow 90°* dan setelah *elbow 90°* yang terdapat pada *downstream straight duct*.

Gambar 4.2 akan menjelaskan *Coeffisien losses elbow 90°* pada *square duct* dan *square elbow 90°* yang mana penjelasan karakteristik ini berupa grafik dari nilai *Coeffisien losses elbow 90°* dengan variasi *Reynolds Number* $1,4 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10,3 \times 10^4$ (kecepatan udara 2 m/s sampai 12 m/s dengan kenaikan kecepatan 1 m/s) dengan variasi tanpa *inlet disturbance body* dan jarak peletakan *inlet disturbance body 5°-20°*.



Gambar 4.3 *Coeffisien Losses Elbow 90° pada Square Duct dan Square Elbow 90° dengan variasi Reynolds Number $1,4 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10,3 \times 10^4$*

Dari grafik gambar 4.3 dapat dilihat bahwa dengan adanya *inlet disturbance body* menghasilkan nilai *koefisien losses elbow 90°* yang lebih besar dengan semakin meningkatnya *Reynolds numbers* pada masing-masing pelatakan *inlet disturbance body*. Pada pelatakan IDB 5° mempunyai *trendline* grafik meningkat mulai dari *Reynolds number* $1,4 \times 10^4$ sampai dengan *Reynolds number* $10,3 \times 10^4$. *Trendline* grafik meningkat ini juga terjadi pada pelatakan IDB 10°, 15°, dan 20° dari *Reynolds number* $1,4 \times 10^4$ sampai dengan *Reynolds number* $10,3 \times 10^4$. Hal ini sesuai dengan perumusan 4.7, yaitu ketika kecepatan aliran yang melintasi saluran meningkat maka nilai *pressure drop* akan meningkat. Kemudian dengan semakin meningkatnya *pressure drop* maka nilai *koefisien losses elbow* akan semakin meningkat. Dari seluruh variasi pelatakan IDB, dapat dilihat bahwa pada pelatakan IDB 5° memiliki nilai *koefisien losses elbow* paling rendah, sedangkan pada sudut 20° memiliki nilai *koefisien losses elbow* paling tinggi.

Dari gambar 4.3 dapat dilihat bahwa semakin meningkatnya *Reynolds number* maka akan semakin meningkat pula nilai *koefisien losses elbow* yang terjadi pada masing-masing

jarak peletakan *inlet disturbance body*. Sehingga dapat dikatakan jika *pressure drop* dari suatu fluida meningkat, maka *koefisien losses elbow* akan meningkat. Hal ini dapat disebabkan oleh *headloss minor* yang semakin besar, sesuai dengan perumusan sebagai berikut :

$$\frac{P_{outlet}}{\rho} + \frac{\bar{V}_{outlet}^2}{2} + gZ_{outlet} = \frac{P_{inlet}}{\rho} + \frac{\bar{V}_{inlet}^2}{2} + gZ_{inlet} + h_{lm} \quad (4.4)$$

$$\frac{\Delta P}{\rho} = h_{elbow\ 90^\circ} \quad (4.5)$$

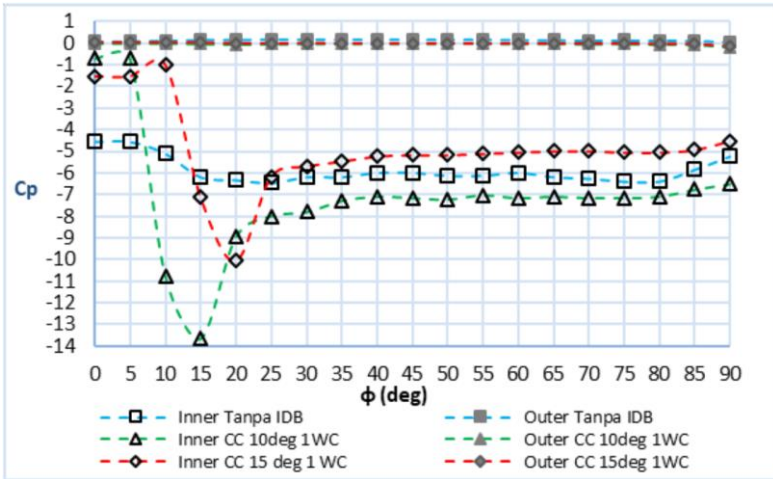
$$\frac{\Delta P}{\rho} = k_{elbow\ 90^\circ} \left(\frac{\bar{V}^2}{2} \right) \quad (4.6)$$

$$k_{elbow\ 90^\circ} = \frac{2\Delta P}{\rho \cdot \bar{V}^2} \quad (4.7)$$

Penambahan *inlet disturbance body* di dalam *inner elbow* 90° akan mengakibatkan kenaikan *losses* pada *elbow* 90°. Berdasarkan pembahasan diatas dapat diketahui bahwa besarnya *loss coefficient elbow* sangat bergantung pada besarnya nilai *pressure drop* pada *elbow* 90°. Jika *pressure drop* pada *elbow* 90° dapat diturunkan maka besarnya *loss coefficient elbow* 90° juga akan berkurang. Hasil yang didapatkan sedikit berbeda dengan tabel *loss coefficient* yang didapatkan Miller(1990), dikarenakan adanya kemungkinan bocor pada bagian penyambungan *elbow* dengan saluran *duct* sehingga meningkatkan *loss coefficient* pada *Re* yang tinggi seperti yang terjadi pada gambar 4.3.

4.3 Coefficient of Pressure pada Square Elbow 90° Fungsi Reynolds Number dan Variasi Tanpa Inlet Disturbance Body dan Inlet Disturbance Body 5°-20° di sisi inner Elbow 90° dengan $Re_{Dh}=3,2 \times 10^4$

Coefficient of Pressure adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan koefisien tekanan dari satu titik ke titik lain dalam *elbow* 90°. Pada eksperimen ini, *Pressure Coefficient* didapatkan dari data perbedaan tekanan dari *pressure tap outer wall* maupun *inner wall* yang terdapat pada sepanjang dinding melengkung dari *elbow* 90° yang dipasang masing – masing sebanyak 18 *pressure tap* dari 0° sampai 90° dengan selisih pemasangan antar *pressure tap* setiap kenaikan 5°.



Gambar 4.4 *Pressure coefficient elbow 90° dengan dan tanpa inlet disturbance body sebagai fungsi Reynolds number*

Dilihat pada gambar 4.4 menunjukkan adanya perubahan nilai *Pressure Coefficient* (C_p) di sepanjang penampang melintang baik pada *outer wall* maupun *inner wall* dari dinding kelengkungan *elbow* 90°. Kurva bagian atas menunjukkan C_p pada *outer wall* ($R_{out} = 437,5\text{mm}$), dan kurva bagian bawah menunjukkan C_p pada *inner wall* ($R_{in} = 312,5\text{ mm}$). Dengan memasukkan nilai dari *Reynolds Number* konstan yaitu $3,2 \times 10^4$ (kecepatan udara konstan 4 m/s), nilai *Coefficient of Pressure* (C_p) dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut :

$$C_p = \frac{\Delta p}{\frac{1}{2}\rho V_\infty^2} \quad (4.8)$$

$$C_p = \frac{P_c - P_\infty}{\frac{1}{2}\rho V_\infty^2} \quad (4.9)$$

Berdasarkan gambar 4.4 ditunjukkan bahwa ketika aliran melewati sebuah *elbow* maka aliran tersebut akan mengalami fenomena seperti ketika aliran melewati *diffuser* dan *nozzle*. Ketika aliran melewati sisi *inner* telah terjadi fenomena seperti pada *nozzle* pada sudut 0° sampai 20°, dimana pada sudut tersebut terjadi penurunan kecepatan yang menandakan terjadinya kenaikan

tekanan. Namun, setelah aliran melewati sudut 25° sampai 90° terjadi kenaikan tekanan diikuti dengan penurunan kecepatan seperti yang terjadi pada *diffuser*. Pada sisi *outer* dengan kenaikan maupun penurunan kecepatan sulit dilihat karena nilai C_p cenderung sama. Kondisi tersebut terjadi di semua variasi, baik variasi peletakan IDB maupun tanpa IDB. Sehingga pengamatan dilakukan dengan menggunakan perhitungan ΔC_p untuk mendapatkan pengaruh penambahan IDB. Perhitungan ΔC_p dapat dilihat pada persamaan 4.9 dan 4.10, dimana perhitungannya melibatkan nilai C_p sisi *inner* dan C_p sisi *outer*. Sehingga, terdapat perbedaan nilai *Pressure Coefficient* yang cukup signifikan pada *elbow* 90° dengan saluran tanpa *inlet disturbance body* dan menggunakan *inlet disturbance body* variasi peletakan IDB 15° dan peletakan IDB 10° . Perbedaan cukup signifikan tersebut terjadi pada *inner wall* maupun *outer wall elbow* 90° di setiap variasi *inlet disturbance body*. Didapatkan bahwa ΔC_p pada jarak *inlet disturbance body* peletakan IDB 15° terlihat lebih kecil dibandingkan pada jarak peletakan IDB 10° maupun tanpa menggunakan *inlet disturbance body*. Hal tersebut mengindikasikan bahwa *pressure drop* yang ada pada *elbow* 90° dengan menggunakan *inlet disturbance body* peletakan IDB 15° lebih kecil dibandingkan pada peletakan IDB 10° maupun tanpa menggunakan *inlet disturbance body*. Dengan memasukan nilai C_p *inner* dan C_p *outer* pada setiap variasi jarak *inlet disturbance body* maupun variasi nilai *Reynolds Number*, nilai ΔC_p dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\Delta C_p = \Delta C_{p_{outlet}} - \Delta C_{p_{inlet}} \quad (4.10)$$

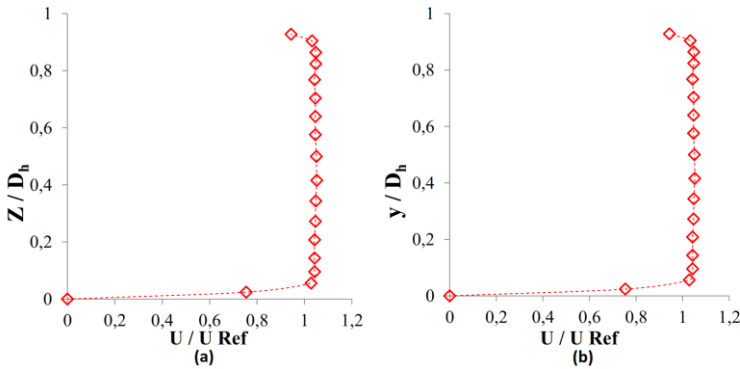
$$\Delta C_p = (C_{p_{outer (outlet)}} - C_{p_{inner (outlet)}}) - (C_{p_{outer (inlet)}} - C_{p_{inner (inlet)}}) \quad (4.11)$$

Selain itu, pada gambar 4.4 juga dapat dilihat bahwa perbedaan tekanan maksimum pada dinding kelengkungan *elbow* 90° terjadi pada penampang melintang tepatnya pada sudut $\phi = 20^\circ$. Di sisi lain, dapat disimpulkan dari analisa bahwa aliran yang mengalir di sepanjang saluran mengalami percepatan pada daerah dekat dinding *inner wall* pada bagian awal dari dinding

kelengkungan *elbow* 90° ($0^\circ < \phi < 20^\circ$). Setelah itu, pada daerah outlet *elbow* 90° , aliran mengalami percepatan pada daerah dekat dinding *outer wall* dan terjadi *vortex (secondary flow)* pada daerah dekat dinding *inner wall*. *Vortex (secondary flow)* tersebut mengakibatkan defisit momentum pada aliran utama (*primary flow*) yang mengalir di sepanjang saluran.

4.4 Profil Kecepatan Bidang Horizontal dan Vertikal pada Sisi *Upstream Straight Duct* dan *Downstream Straight Duct* dengan $Re_{Dh} = 4,7 \times 10^4$

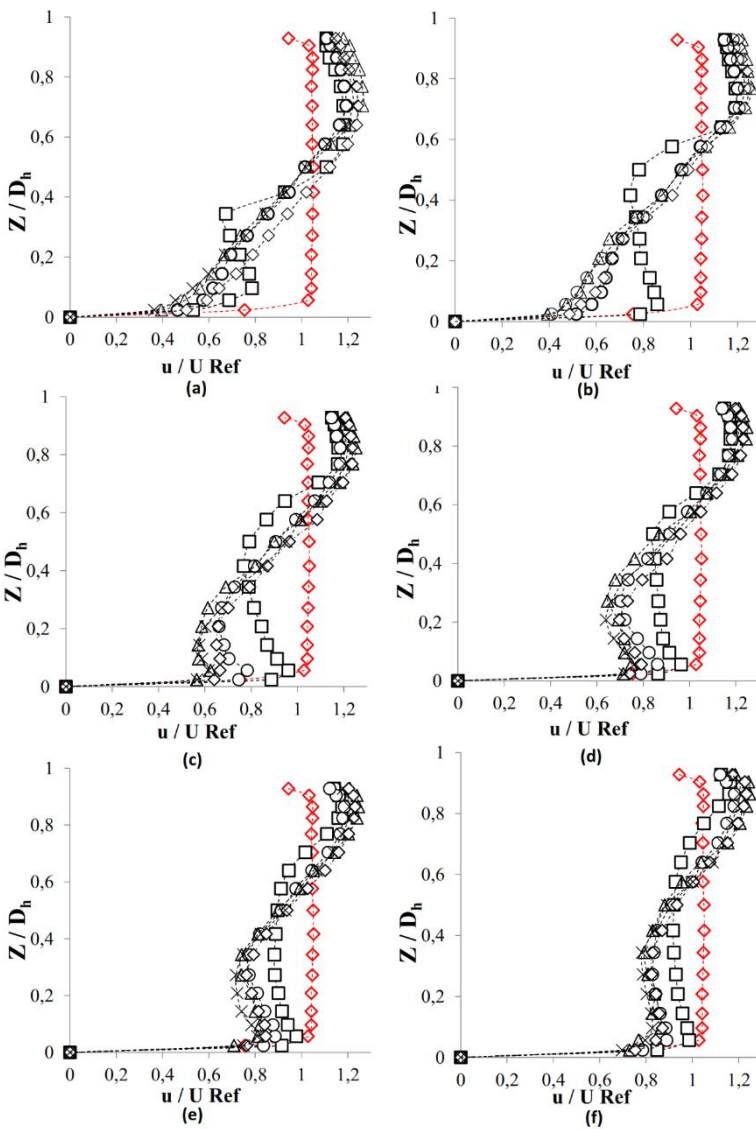
Profil kecepatan pada sisi *upstream straight duct* digunakan sebagai acuan untuk menentukan gambaran proses *recovery* profil kecepatan daerah *downstream straight duct* pada *section* yang telah ditentukan. Pada gambar 4.5.(a) menunjukkan perilaku aliran pada sisi *upstream straight duct* berupa grafik *velocity profile* pada bidang horizontal. *Velocity profile* dalam bentuk bilangan tak berdimensi yang bernilai dari nol sampai satu pada absis sedangkan besarnya profil kecepatan ditunjukkan oleh perbandingan pada ordinat. Absis pada grafik menunjukkan posisi titik dimana nilai $z/D_h = 0$ adalah posisi yang searah dengan sisi *inner upstream straight duct* dan $z/D_h = 0,9434$ adalah posisi yang searah dengan sisi *outer upstream straight duct*. Pada gambar 4.5.(b) menunjukkan perilaku aliran pada sisi *upstream straight duct* berupa grafik *velocity profile* pada bidang vertikal. *Velocity profile* dalam bentuk bilangan tak berdimensi yang bernilai dari nol sampai satu pada absis sedangkan besarnya profil kecepatan ditunjukkan oleh perbandingan pada ordinat. Absis pada grafik menunjukkan posisi titik dimana nilai $y/D_h = 0$ adalah posisi yang searah dengan sisi *lower upstream straight duct* dan $y/D_h = 0,9434$ adalah posisi yang searah dengan sisi *upper upstream straight duct*.

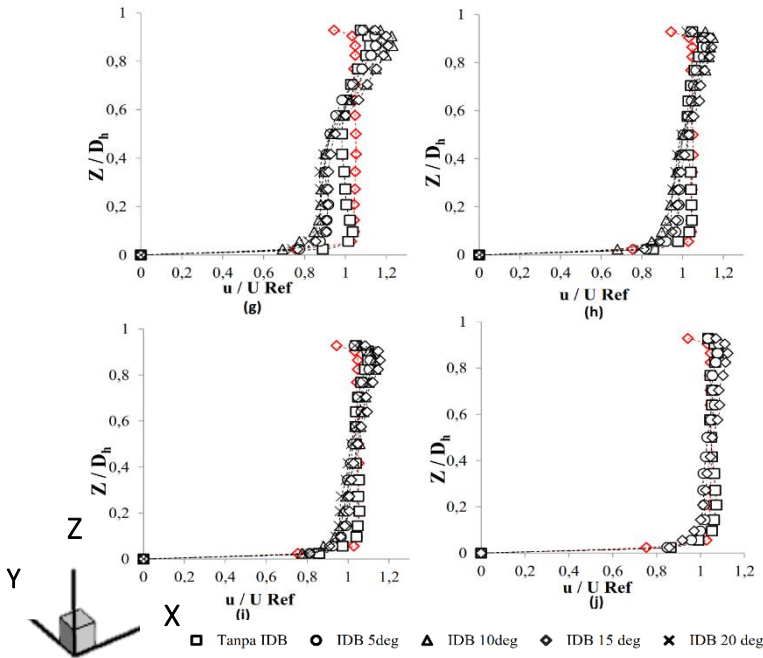


Gambar 4.5 Grafik *velocity profile* (a) bidang horizontal sisi *upstream straight duct*
(b) bidang vertikal sisi *upstream straight duct*

4.4.1 Distribusi Profil Kecepatan Bidang Horizontal dengan Variasi Tanpa *Inlet Disturbance Body* dan Peletakan *Inlet Disturbance Body* 5° - 20° di sisi *inner Elbow* 90° pada $Re_{Dh} = 4,7 \times 10^4$

Pada sub bab ini menjelaskan gambaran umum distribusi *velocity profile* pada bidang horizontal beserta kontur yang mewakili besar kecepatan sepanjang aliran *downstream straight duct* pada bidang horizontal. Pada gambar 4.. akan dibahas penjelasan analisa tentang bagaimana perilaku aliran dua dimensi sepanjang *downstream straight duct* berupa grafik *velocity profile* pada bidang horizontal. *Velocity profile* dalam bentuk bilangan tak berdimensi yang bernilai dari nol sampai satu pada absis sedangkan besarnya profil kecepatan ditunjukkan oleh perbandingan $\frac{u}{U_{ref}}$ pada ordinat. Absis pada grafik menunjukkan posisi titik dimana nilai $z/D_h = 0$ adalah posisi yang searah dengan sisi *inner downstream straight duct* dan $z/D_h = 0,9434$ adalah posisi yang searah dengan sisi *outer downstream straight duct*. Untuk lebih detail, maka dijelaskan dalam grafik perbandingan antara tanpa *inlet disturbance body* dengan variasi peletakan *inlet disturbance body* 5° - 20° di sisi *inner elbow* 90° .





Gambar 4.6 Grafik *velocity profile* bidang horizontal pada masing-masing posisi *cross-section* berdasarkan *test section* : (a) sec 1; (b) sec 2; (c) sec 3; (d) sec 4; (e) sec 5; (f) sec 6; (g)sec 9 ; (h) sec 12 ; (i) sec 13 ;(j) sec 14

Distribusi profil kecepatan mulai terlihat beragam ketika melewati *outlet elbow 90°*, dimana terjadi perbedaan signifikan antara kecepatan sisi *inner* dan *outer*. Saat aliran telah melewati *elbow 90°*, sisi *inner* mulai mengalami separasi aliran yang menyebabkan terjadinya pengurangan kecepatan. Perbedaan tekanan karena kelengkungan *radius elbow 90°* juga mempengaruhi kecepatan aliran. Hal tersebut menyebabkan tekanan pada sisi *outer* lebih besar daripada sisi *inner* sehingga terjadi *secondary flow* yang mengalir ke arah normal tangensial yang mengakibatkan adanya *blockage area* pada sisi *inner* dan terlihat pada gambar 4.6 (a) aliran terbesar di daerah *centerline*.

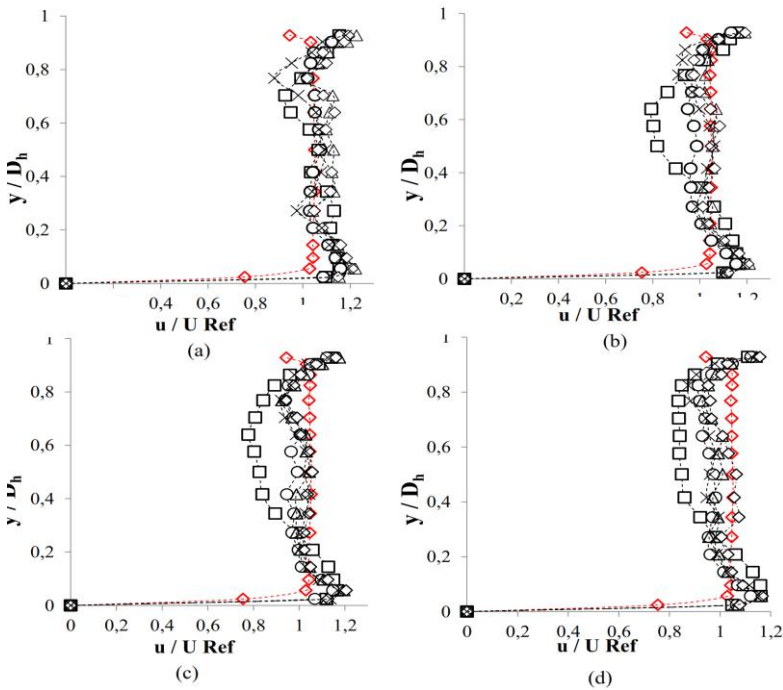
Kemudian perlambatan paling besar terjadi pada variasi tanpa IDB karena aliran lebih awal terseparasi. Penambahan IDB dapat menunda separasi aliran karena momentum aliran lebih kuat melawan *advers pressure* dan pengaruh terbesar ditunjukkan oleh variasi peletakan 15° . Pada $z/Dh=1$ menunjukkan distribusi kecepatan aliran yang berubah signifikan.

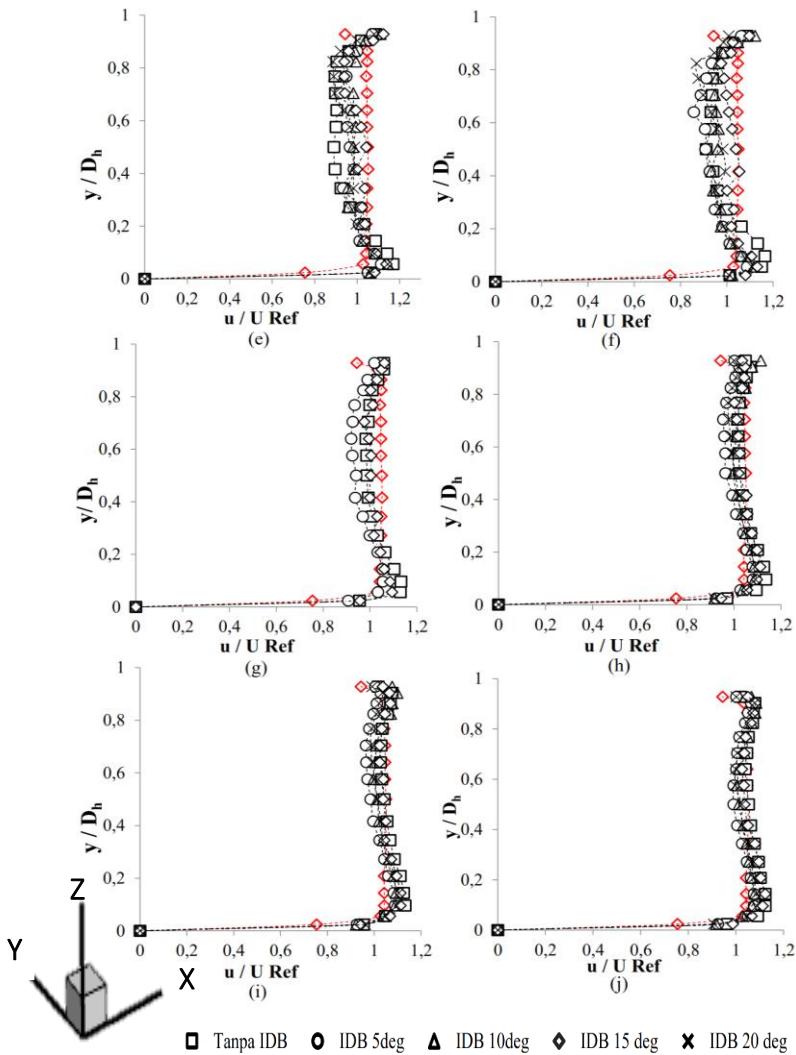
Aliran sekunder yang awalnya dominan terjadi pada sisi *inner* kemudian bergerak ke sisi *outer* menyebabkan pengaruh *backflow* semakin kuat. Hal tersebut berlanjut terjadi pada $z/Dh=2$, $z/Dh=3$, $z/Dh=4$, $z/Dh=5$, $z/Dh=6$ dimana pada sisi *inner* kecepatan terbesar pada variasi tanpa IDB. Setelah melewati $z/Dh=6$, profil kecepatan mengalami mulai mengalami proses *recovery* dimana efek dari *backflow* dan *blockage* mulai menghilang. Pada $z/Dh=9$, pada sisi *inner* kecepatan tertinggi masih terjadi pada variasi tanpa IDB. Pada $z/Dh=12$, $z/Dh=13$ dan $z/Dh=14$ aliran mulai *uniform* seperti yang ditunjukkan oleh profil kecepatan *freestream*. Tetapi efek dari *backflow* masih terlihat tipis di area mendekati sisi *outer wall*. Pada sisi *inner* juga terlihat mempunyai kecepatan yang sedikit lebih lambat karena proses *recovery* aliran berawal dari sisi mendekati *inner wall*. Sehingga dapat dikatakan bahwa penambahan IDB pada sisi elbow akan memperlambat terjadinya *recovery* jika dibandingkan dengan tanpa IDB.

4.4.2 Distribusi Profil Kecepatan Bidang Vertikal dengan Variasi Tanpa Inlet Disturbance Body dan Peletakan Inlet Disturbance Body 5° - 20° di sisi inner Elbow 90° pada $Re_{Dh} = 4,7 \times 10^4$

Pada sub bab ini menjelaskan gambaran umum distribusi *velocity profile* pada bidang vertikal beserta kontur yang mewakili besar kecepatan sepanjang aliran *downstream straight duct* pada bidang vertikal. Pada gambar 4.7 akan dibahas penjelasan analisa tentang bagaimana perilaku aliran dua dimensi sepanjang *downstream straight duct* berupa grafik *velocity profile* pada bidang vertikal. *Velocity profile* dalam bentuk bilangan tak

berdimensi yang bernilai dari nol sampai satu pada absis sedangkan besarnya profil kecepatan ditunjukkan oleh perbandingan $\frac{u}{U_{ref}}$ pada ordinat. Absis pada grafik menunjukkan posisi titik dimana nilai $y/D_h = 0$ adalah posisi yang searah dengan sisi *inner downstream straight duct* dan $y/D_h = 0,9434$ adalah posisi yang searah dengan sisi *outer downstream straight duct*. Untuk lebih detail, maka dijelaskan dalam grafik perbandingan antara tanpa *inlet disturbance body* dengan variasi peletakan *inlet disturbance body* 5° - 20° di sisi *inner elbow* 90° .



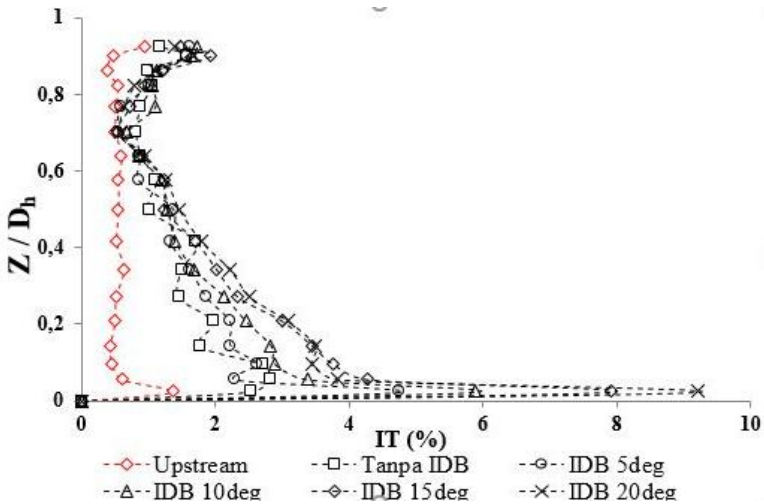


Gambar 4.7 Grafik *velocity profile* bidang vertikal pada masing-masing posisi *cross-section* berdasarkan *test section* : (a) sec 1; (b) sec 2; (c) sec 3; (d) sec 4; (e) sec 5; (f) sec 6; (g)sec 9 ; (h) sec 12 ; (i) sec 13 ;(j) sec 14

Distribusi kecepatan aliran mulai terlihat berubah ketika melewati *outlet elbow 90°* dimana pada sisi $y/D_h = 1$ mengalami percepatan aliran pada semua variasi pelatakan *inlet disturbance body*. Pada $y/D_h = 1$ juga terlihat perubahan distribusi kecepatan pada sisi *lower* maupun *upper wall*. Perlambatan aliran terjadi pada *upper wall* karena adanya pengaruh dari aliran sekunder yang mengakibatkan *blockage effect*. Perlambatan terbesar terjadi pada variasi tanpa IDB. Kemudian pada $y/D_h = 2$, pengaruh dari *blockage effect* mendekati *centerline*. Pada $y/D_h = 3$, pengaruh dari *blockage effect* mendekati sisi *lower wall*. Sedangkan profil kecepatan mulai mengalami *recovery* terjadi pada $y/D_h = 6$ tetapi masih terdapat percepatan pada sisi *lower wall*. Lalu, pada $y/D_h = 9$ sampai 14 sudah menunjukkan proses *recovery* aliran. Hal tersebut membuktikan bahwa pengaruh aliran sekunder masih berpengaruh sampai akhir *section downstream square duct*.

4.5 Perbandingan Intensitas Turbulensi Bidang Horizontal dengan Variasi tanpa *Inlet Disturbance Body* dan Peletakan *Inlet Disturbance Body* 5°-20° di sisi *inner Elbow 90°* pada $Re_{Dh} = 4,7 \times 10^4$

Sub-bab ini menjelaskan gambaran umum distribusi intensitas turbulensi pada bidang horizontal yang diplot pada sebuah grafik yang membandingkan intensitas turbulensi pada semua variasi IDB dan tanpa IDB. Intensitas Turbulensi (IT) adalah bilangan tak berdimensi yang bernilai dari nol sampai satu pada absis dan ditunjukkan dengan persentase perbandingan fluktuasi kecepatan (u') terhadap kecepatan rata-rata (u_{avg}) pada ordinat. Absis pada grafik menunjukkan posisi titik dimana nilai $z/D_h = 0$ adalah posisi yang searah dengan sisi *inner downstream straight duct* dan $z/D_h = 0,9434$ adalah posisi yang searah dengan sisi *outer downstream straight duct*. Pengambilan data intensitas turbulensi dilakukan pada bidang horizontal pada posisi $x/D_h = 1$.

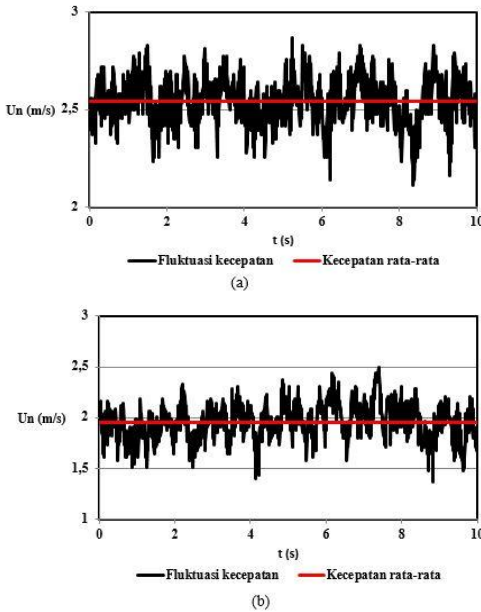


Gambar 4.8 Distribusi Intensitas Turbulensi (IT) pada bidang horizontal dengan $x/D_h=1$ setelah *outlet elbow* 90°

Pada gambar 4.8 dapat dilihat bahwa intensitas turbulensi (IT) pada sisi *outer* dan sisi *inner* sangatlah berbeda. Ketika distribusi dimulai pada sisi *outer* maka dapat dilihat distribusi IT terlihat datar dan sama disetiap variasi IDB dan tanpa IDB. Namun setelah distribusi IT tersebut mendekati sisi *inner* lebih tepatnya pada posisi $z/D_h = 0,024$ terjadi peningkatan IT secara signifikan. Peningkatan terjadi disemua variasi IDB dan tanpa IDB seperti pada gambar 4.8. Untuk variasi tanpa IDB prosentasi IT menunjukkan nilai yang paling kecil dibandingkan dengan variasi IDB. Pada variasi IDB ditunjukkan bahwa variasi tanpa IDB memiliki IT yang paling rendah dibandingkan dengan variasi yang lainnya. Sedangkan nilai IT yang tertinggi ditunjukkan pada variasi peletakan IDB 20° .

Perhitungan IT pada gambar 4.8 menggunakan persamaan 4.11 dan didukung oleh persamaan 4.12. Untuk mendapatkan besarnya nilai IT digunakan cara pengambilan data secara berulang pada setiap titik seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.9 dan menggunakan persamaan 4.11 yaitu membandingkan antara akar

rata-rata dari fluktuasi kecepatan (u') terhadap kecepatan rata-rata (u_{avg}). Secara teori intensitas turbulensi memiliki kriteria tertentu, jika IT bernilai 1% atau kurang dikategorikan rendah sedangkan IT bernilai 10% atau lebih dikategorikan tinggi. Semakin tingginya nilai fluktuasi kecepatan disuatu titik tertentu dan pada selang waktu tertentu, maka nilai turbulensi yang didapatkan akan semakin tinggi juga.



Gambar 4.9 Fluktuasi kecepatan bidang horizontal di daerah $x/D_h = 1$ dan $z/D_h = 0,416$ pada (a) *elbow* tanpa ditambahkan IDB dan (b) *elbow* ditambahkan IDB 20° .

$$IT = \frac{u'}{u_{avg}} \times 100\% \quad (4.11)$$

$$u' = \sqrt{\frac{\sum (\bar{U} - U_n)^2}{n-1}} \quad (4.12)$$

Peningkatan nilai IT pada $z/D_h = 0,024$ menarik perhatian khusus karena pada posisi ini tampak jelas bahwa terjadi peningkatan IT secara signifikan. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada posisi $z/D_h = 0,024$ terjadi peningkatan fluktuasi atau fluktuasi di daerah tersebut sangat tinggi dibandingkan dengan posisi lain. Pada variasi tanpa IDB didapatkan nilai IT sebesar 2,54. Nilai tersebut ternyata lebih kecil dibandingkan dengan besarnya nilai IT pada variasi penambahan IDB. Dimana variasi peletakan IDB 5° , variasi peletakan IDB 10° , variasi peletakan IDB 15° dan variasi peletakan 20° memiliki nilai 4,75 ; 5,89 ; 7,91 dan 9,21 secara berurutan. Dari hasil tersebut maka penambahan IDB dapat meningkatkan IT pada daerah setelah *elbow* 90° tetapi yang paling efektif adalah pada variasi peletakan IDB 15° . Hal ini memperkuat hipotesa awal penelitian ini bahwa dengan menambahkan IDB pada sisi *inner elbow* 90° dapat meningkatkan intensitas turbulensi. Dimana turbulensi tersebut dapat memperkuat momentum aliran sehingga dapat melawan *adverse pressure* pada sisi *inner* setelah *elbow* 90° .

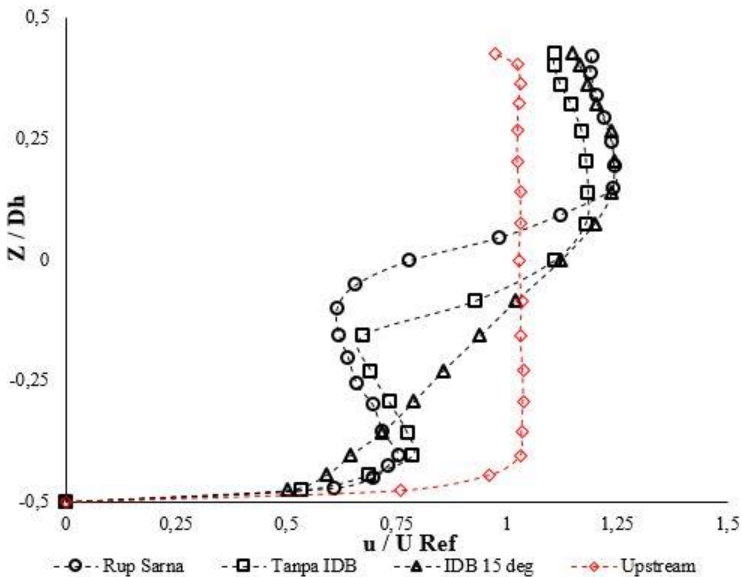
4.6 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Pada sub-bab ini akan dibandingkan hasil eksperimen dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Rup & Sarna (2011). Rup & Sarna telah melakukan penelitian dengan topik dan tujuan yang sama untuk mengamati karakteristik aliran yang melewati *square duct* dengan ditambahkan *elbow* 90° . Namun ada beberapa perbedaan seperti pada *Reynolds Number* yang digunakan, dimensi saluran, rasio kelengkungan *elbow* 90° , panjang *upstream* dan *downstream*. Perbedaan tersebut dapat dikesampingkan karena hasil eksperimen yang dibandingkan menggunakan bilangan yang tak berdimensi sehingga perbedaan tersebut dapat dikesampingkan. Ada dua poin yang akan dibandingkan yaitu profil kecepatan. Perbandingan ini bertujuan untuk mendapatkan validasi hasil eksperimen yang telah dilakukan sehingga hasil yang didapatkan dapat digunakan sebagai referensi penelitian selanjutnya. Perbedaan dimensi yang dijelaskan diatas dapat ditulis secara

detail yaitu penelitian Rup & Sarna menggunakan *square duct* dengan diameter hidrolik (D_h) sebesar 80 mm, rasio kelengkungan *elbow 90°* (R/D_h) sebesar 2, dan panjang *upstream* sepanjang $20D_h$ serta panjang *downstream* sepanjang $20D_h$, sedangkan pada penelitian kali ini digunakan diameter hidrolik (D_h) sebesar 125 mm, rasio kelengkungan *elbow 90°* (R/D_h) sebesar 3 dan panjang *upstream* sepanjang $7D_h$ serta panjang *downstream* sepanjang $15D_h$.

4.6.1 Perbandingan Velocity Profile dengan penelitian Rup & Sarna (2011)

Perbandingan distribusi profil kecepatan antara hasil eksperimen dengan penelitian yang dilakukan Rup & Sarna dibandingkan pada posisi yang sama yaitu pada $x/D_h = 1$. Perbedaananya terletak pada pemilihan nilai Re yaitu $Re\ 4,7 \times 10^4$ pada eksperimen kali ini, sedangkan 4.00×10^4 pada penelitian Rup & Sarna. Kemudian *coefficient pressure* pada Rup & Sarna diukur pada $Re\ 9.21 \times 10^4$ sedangkan pada eksperimen kali ini diukur pada $Re\ 3,2 \times 10^4$



Gambar 4.10 Perbandingan profil kecepatan hasil eksperimen dengan penelitian Rup & Sarna (2011) pada *elbow* 90°

Berdasarkan gambar 4.10 dapat dilihat bahwa perbandingan antara hasil eksperimen yang telah dilakukan dengan penelitian yang dilakukan Rup & Sarna memiliki kesamaan secara pola distribusi meskipun secara nilai pasti tidak sama. Pada distribusi profil kecepatan (gambar 4.10) menunjukkan pola yang identik sama dengan adanya percepatan pada sisi *outer* dan kemudian diikuti dengan terjadinya difisit momentum pada sisi *inner*. Kesamaan pola distribusi profil kecepatan sangat terlihat jelas pada variasi tanpa *inlet disturbance body* (IDB). Hal ini menunjukkan bahwa percobaan yang telah dilakukan memiliki hasil yang bisa dibilang baik karena tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti lain seperti Rup & Sarna.

” Halaman ini sengaja dikosongkan “

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan Hasil Penelitian

Berdasarkan pembahasan hasil penelitian pada bab analisa dan pembahasan maka diambil kesimpulan bahwa :

1. Penambahan *Inlet Disturbance Body* (IDB) sebagai bodi pengganggu dapat menurunkan nilai *pressure drop* dibandingkan dengan tanpa menggunakan *inlet disturbance body*, tetapi penurunan nilai *pressure drop* secara umum efektif pada nilai Re $1,5 \times 10^4$ sampai dengan $7,1 \times 10^4$ untuk semua variasi peletakan IDB. Penurunan nilai *pressure drop* paling efektif pada variasi peletakan IDB 15° sedangkan variasi lain hanya efektif pada *Reynolds Number* rendah.
2. Peletakan *inlet disturbance body* di dalam *elbow* akan mengakibatkan kenaikan nilai *loss coefficient elbow* untuk semua variasi .Nilai tersebut jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan tanpa IDB sehingga peletakan IDB didalam elbow kurang efektif jika untuk menurunkan K elbow.
3. *Coefficient Pressure* (C_p) untuk variasi peletakan IDB menunjukkan nilai ΔC_p yang lebih rendah dibandingkan dengan tanpa IDB. Tetapi jika diamati pada masing-masing variasi diameter IDB, nilai ΔC_p pada variasi 15 deg menghasilkan ΔC_p yang paling kecil. Sehingga pada variasi 15 deg merupakan variasi yang paling efektif menurunkan *pressure drop*, karena mampu melawan *advers pressure* dibandingkan tanpa IDB.
4. Penambahan *Inlet Disturbance Body* pada saluran tidak membuat aliran lebih cepat *recovery* karena momentum aliran tanpa body pengganggu lebih besar jika dibandingkan dengan penambahan IDB. Selain itu, aliran sepanjang saluran merupakan *entrance region* apabila panjang saluran diperpanjang bukan tidak mungkin penambahan IDB akan mempercepat proses *recovery*.

5. Pengamatan Intensitas turbulensi pada sisi $x/D_h=1$. Hasil yang didapat bahwa peletakan IDB yang semakin dekat dengan *outlet elbow* akan mengakibatkan intensitas turbulensi yang tinggi. Dimana turbulensi tersebut dapat memperkuat momentum aliran sehingga dapat melawan *adverse pressure* pada sisi *inner* setelah *elbow* 90° .

5.2 Saran

Adapun saran-saran yang diberikan untuk memperbaiki penelitian kedepannya yaitu sebagai berikut :

1. Diperlukan adanya pergantian peralatan instalasi maupun alat ukur untuk menunjang keakuratan pengambilan data.
2. Ketika mengambil data sebaiknya menggunakan thermometer untuk mengatur suhu ruangan, karena kondisi ruangan yang stabil harus dikontrol agar data yang diperoleh baik.
3. Diperlukan pula simulasi secara numerik untuk memperkuat hasil penelitian yang telah dilakukan. Contohnya memperkuat posisi terjadinya *reattachment* pada sisi *inner elbow*.
4. Memastikan instalasi terpasang dengan benar supaya tidak terjadi *losses* lain, seperti *losses* pada *elbow* meningkat karena sambungan pada *fitting* tersebut masih terdapat kebocoran.

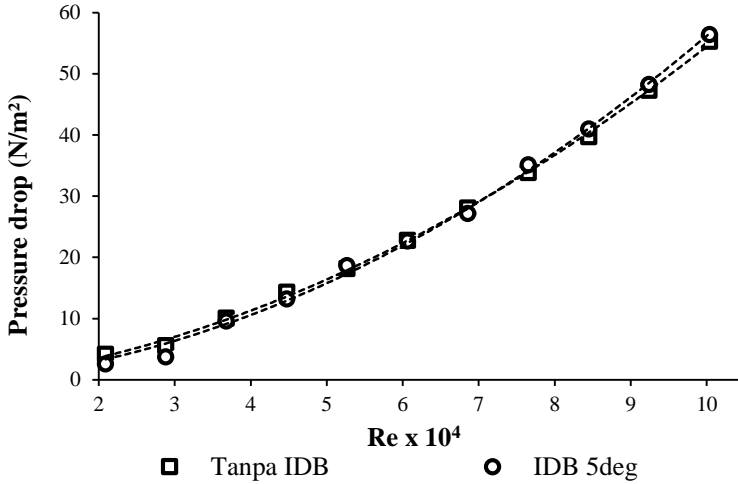
DAFTAR PUSTAKA

- A.Cengel, Yunus & M.Cimbala, John.2006. **Fluid Mechanics Fundamental and Application**. New York : The McGraw-Hill Companies, Inc
- Dutta, Prasun & Nandi, Nityananda. 2015. **Effect of Reynolds Number and Curvature Ratio on Single Phase Turbulent Flow in Pipe Bends**. *Mechanics and Mechanical Engineering Vol. 19, No. 1 (2015) 5–16 Lodz University of Technology*.
- Fox, R.W., Mc Donald, A.T. dan Pritchard, P.J. 2011. **Introduction to Fluid Mechanics, 8th Edition**. New York : John Wiley & Sons Inc.
- H.Choi & J. Lee. 2000. **Ground Effect of Flow Arround an Elliptic Cylinder in a Turbulent Boundary Layer**. *Journal of Fluids and Structures volume 14, Issue 5, July 2000, Pages 697-709*
- Hardian, Aqfha. 2017. **Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Jarak Inlet Disturbance Body terhadap Aliran melalui Square Duct dengan Elbow 90°**. *JURNAL TEKNIK ITS Vol. 6 No. 1 (2017)*. Tugas Akhir : Teknik Mesin ITS-Surabaya
- Jaya Nazar,Andrew,2016. **Studi Eksperimen Aliran Melalui Square Duct dan Square Elbow 90° dengan Double Guide Vane pada Variasi Sudut Bukaam Damper** .*JURNAL TEKNIK ITS Vol. 5 No. 2 (2016)* Tugas Akhir : Teknik Mesin ITS-Surabaya
- Nakayama Y., dan Boucher R.F. 1998. **Introduction to Fluid Mechanics**. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Putra Pratama, Rizkia, 2017. **Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Gap Inlet Disturbance Body Terhadap Aliran Melalui Square Duct Dengan Elbow 90°**. *JURNAL TEKNIK ITS Vol. 6 No. 1 (2017)*. Tugas Akhir : Teknik Mesin ITS-Surabaya

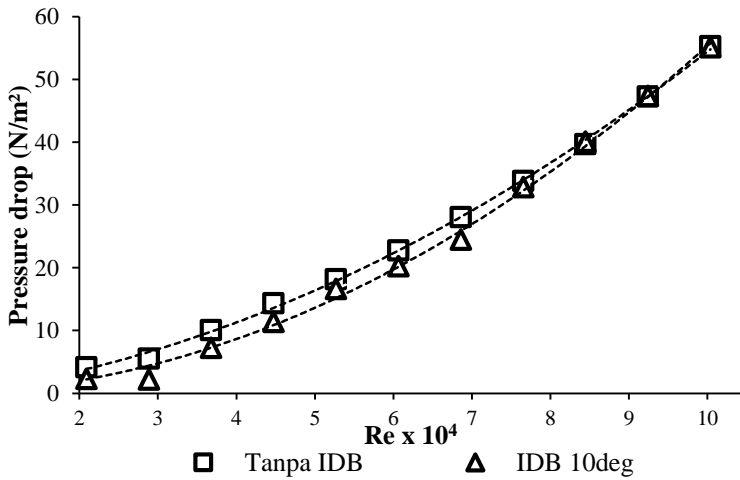
- R.Munson, Bruce , F.Young, Donald and H.Okiishi, Theodore.**2002. Fundamental of Fluid Mechanics, 4th edition.** New York : John Wiley & Sons, Inc.
- Rup, K., & Sarna, P. 2011. **Analysis of Turbulent Flow Through a Square-Sectioned Duct with Installed 90-degree Elbow.** *Flow Measurement and Instrumentation* 22 (2011) 383–391.
- S.Deng, J. Burnett,2000.**A study of energy performance of hotel buildings in Hong Kong,** *Energy and Buildings* 31 (1) (2000) 7–12.
- S.Miller, Donald.**1990. Internal Flows System, 2nd edition.** BHRA (Information Services)
- Wahyu Ramadhan,Eduard,2016. **Studi Eksperimen Aliran Melalui *Square Duct* dan *Square Elbow 90°* Dengan Variasi Sudut Buka dan Damper.** *JURNAL TEKNIK ITS Vol. 5 No. 2* (2016) Tugas Akhir : Teknik Mesin ITS-Surabaya
- Widodo,Wawan Aries & Hidayat,Nuzul.2004. **Experimental Study of Drag Reduction on Circular Cylinder and Reduction of Pressure Drop in Narrow Channels by Using a Cylinder Disturbance Body** *Applied Mechanics and Materials* ISSN: 1662-7482, Vol. 493, pp 198-203

LAMPIRAN

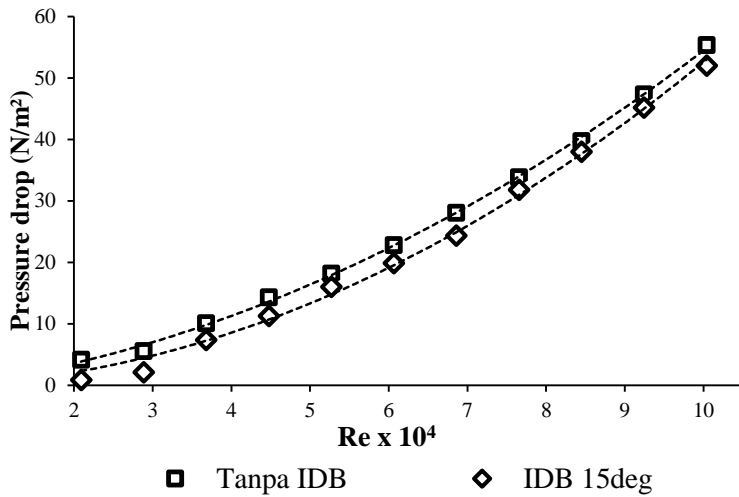
A. *Pressure Drop Sepanjang Saluran duct*



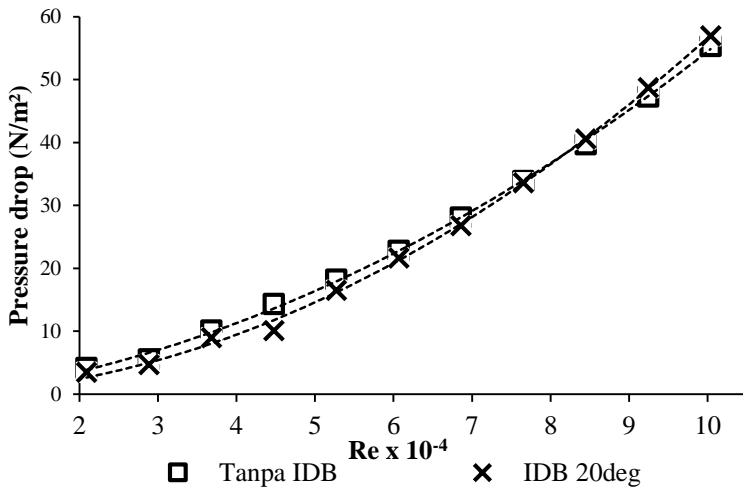
Pressure Drop variasi tanpa IDB vs peletakan IDB 5°



Pressure Drop variasi tanpa IDB vs peletakan IDB 10°

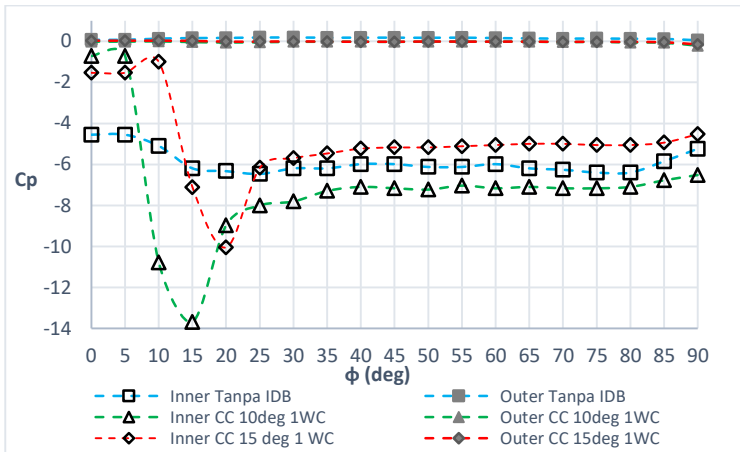


Pressure Drop variasi tanpa IDB vs peletakan IDB 15°

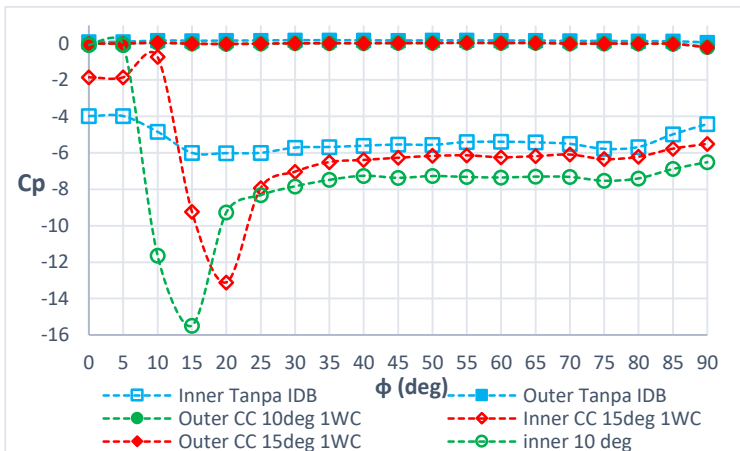


Pressure Drop variasi tanpa IDB vs peletakan IDB 20°

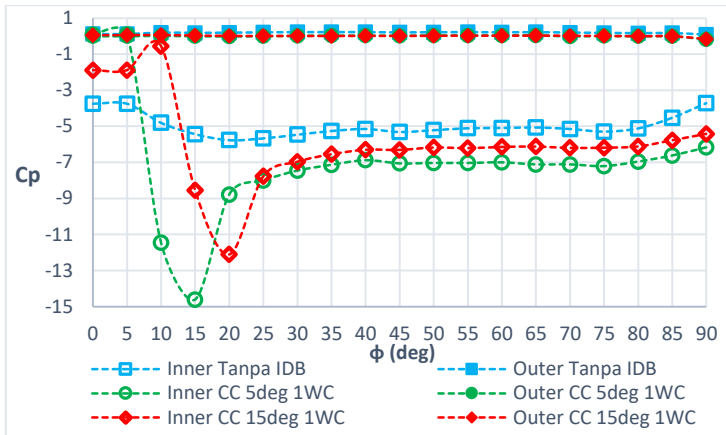
B. Coefficient of Pressure elbow 90°



Coefficient of Pressure elbow 90° dengan variasi Re = 31793

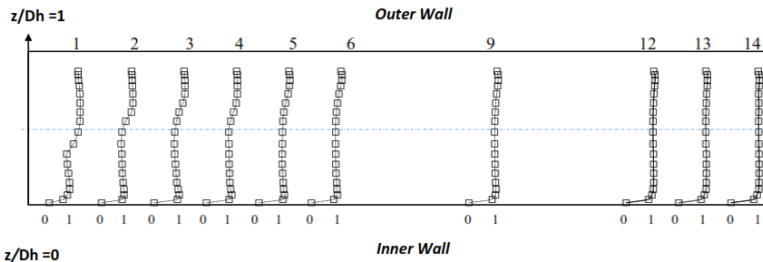


Coefficient of Pressure elbow 90° dengan variasi Re = 63586

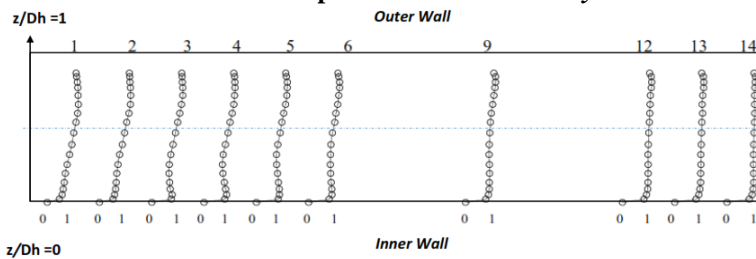


Coefficien of Pressure elbow 90° dengan variasi $Re = 95379$

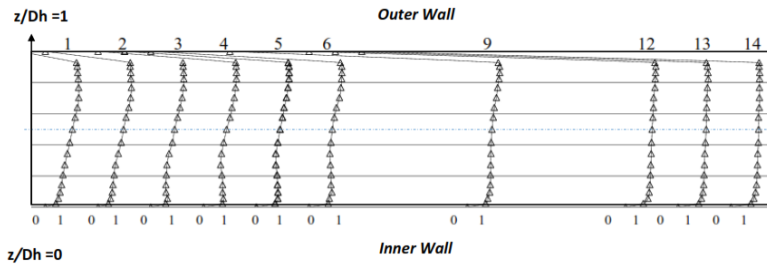
C. Velocity Profil downstream duct (Horizontal)



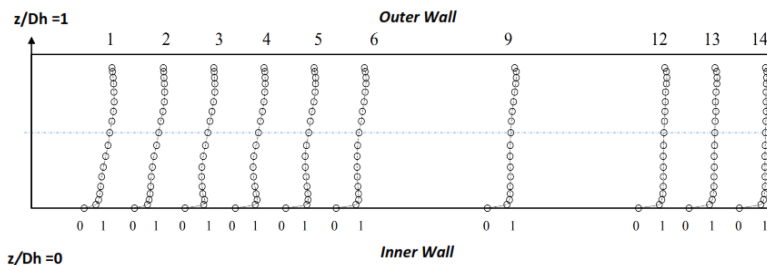
Variasi tanpa inlet disturbance body



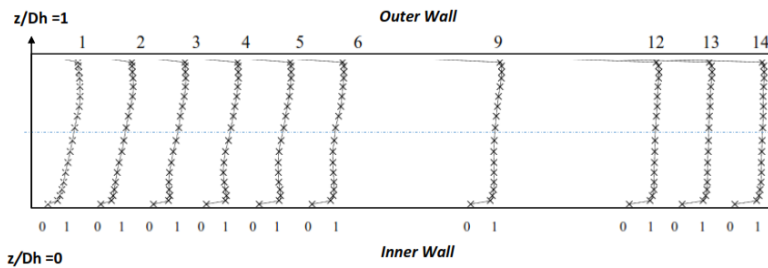
Variasi peletakan inlet disturbance body 5° pada inner elbow 90°



Variasi peletakan inlet disturbance body 10° pada inner elbow 90°

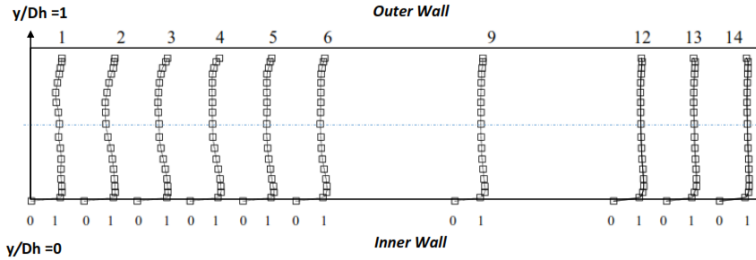


Variasi peletakan inlet disturbance body 15° pada inner elbow 90°

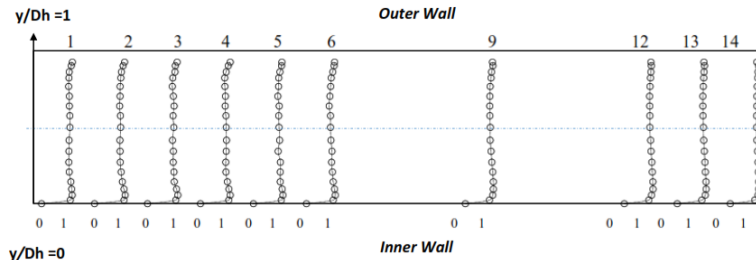


Variasi peletakan inlet disturbance body 20° pada inner elbow 90°

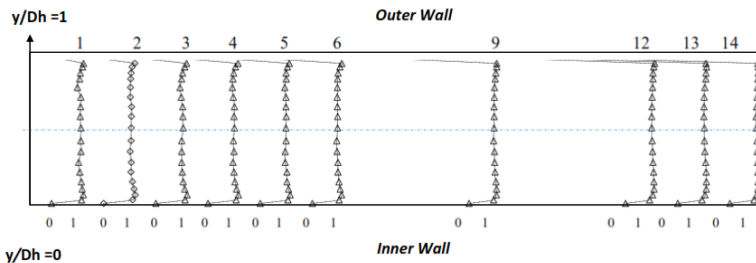
D. Velocity Profil downstream duct (Vertical)



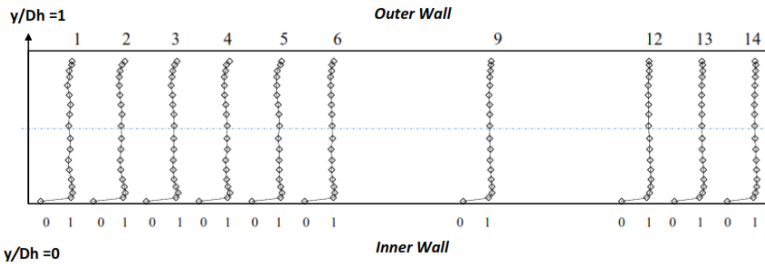
Variasi tanpa inlet disturbance body



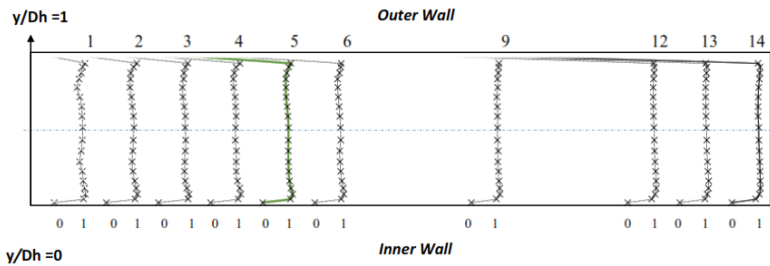
Variasi peletakan inlet disturbance body 5° pada inner elbow 90°



Variasi peletakan inlet disturbance body 10° pada inner elbow 90°



Variasi peletakan inlet disturbance body 15° pada inner elbow 90°



Variasi peletakan inlet disturbance body 20° pada inner elbow 90°

BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara yang dilahirkan pada tanggal 18 September 1993 di Kediri, Provinsi Jawa Timur. Pendidikan formal yang pernah ditempuh meliputi SDN II TALEs, SMPN 1 KRAS, SMAN 4 KEDIRI. Setelah itu penulis meneruskan pendidikan tingkat perguruan tinggi di Program Studi D3 Teknik Mesin dan mengambil - bidang studi Manufaktur di Institut Teknologi Sepuluh

Nopember pada tahun 2012. Untuk mengasah pengetahuan tentang ilmu *mechanical* penulis melanjutkan ke jenjang Lintas Jalur S-1 Teknik Mesin ITS pada tahun 2015. Selain itu, ketertarikan penulis dalam bidang keorganisasian membuat penulis aktif dalam kegiatan-kegiatan organisasi di lingkungan kampus diantaranya di HMDM, BEM FTI, dan JMMI TPKI-ITS. Pada masa berorganisasi itu, penulis pernah menjadi staff LDJ Jundullah HMDM 2013/2014, Staff Sosmas di BEM FTI 2013/2014, Staff BPM di JMMI 2013/2014 dan menjadi Ketua Umum LDJ Jundullah 2014/2015. Selain itu penulis juga aktif di laboratorium D3 Teknik Mesin yaitu dengan menjadi Grader di Lab. Metalurgi 2013-2015 dan juga Lab. CAD 2015. Penulis pernah melakukan kerja praktek di PT. Petrokimia, Gresik Jawa Timur. Bagi pembaca yang ingin lebih mengenal penulis dan ingin berdiskusi lebih luas lagi dapat menghubungi email : m.septa.hendriarto@gmail.com atau no. telp : 081231899008.